

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh energetických soustav rodinného domu

Designing Energy Systems of a Family House

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Šé**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Návrh energetických soustav rodinného domu.
Designing Energy Systems of a Family House.**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Přehled soustav přeměny energií, vyskutujících se a používaných v obytných domech.
Popis vzorového objektu.
Návrh elektrické, osvětlovací a tepelné soustavy domu.
Vyhodnocení a zjednodušená dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dehn + Söhne,; Lightning protection guide. 3rd updated ed., 2014
Hájek, Jan., Šalanský, Dalibor.; Knížka v2.1,2011
Habel, Jiří., Dvořáček, Karel., Žák, Petr.; Světlo a osvětlování, FCC Public; 2013
Další dle pokynů vedoucího práce.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal

V Ostravě dne 30. 4. 2019

Podpis studenta.....

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat firmě FMIB s.r.o. za podporu a poskytnutí náležitých informací a prostředků pro zpracování této diplomové práce. Jmenovitě bych chtěl poděkovat svému kolegovi Stanislavovi Gajzlerovi za jeho trpělivost a neocenitelné vědomosti, které mi během mého působení ve firmě předal.

Velký dík patří mnohým mentorům z akademické půdy VŠB. Zejména bych chtěl poděkovat Ing. Petrovi Bernatovi, Ph.D. za pomoc a vedení během zpracovávání této diplomové práce. V neposlední řadě také vzdávám dík za odborné rady doc. Ing. Vladimíra Krále, Ph.D., které mi poskytl během realizace kapitoly týkající se tepelné soustavy.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a zpracováním základních energetických soustav rodinného domu – soustavy elektrické, světelné a tepelné. Principiálně se jedná o úlohy z oblasti projektování doplněné o teoretický úvod dané problematiky, ze kterého jednotlivá praktická řešení vycházejí. Členění kapitol této práce je realizováno dle příslušných soustav.

Prvotně je navržena soustava elektrická, zabývající se elektroinstalací a ochranou před úderem blesku. Následně je namodelována a vypočtena vnitřní osvětlovací soustava a v závěrečné části jsou namodelovány a vypočteny tepelné ztráty objektu včetně modelu otopné soustavy. Práce tak slouží jako náhled do projekční činnosti související s návrhem rodinného domu, použité postupy lze však také obecně aplikovat na jiné objekty. Jejím výsledkem je výkresová dokumentace uvedená v přílohách, včetně zhodnocení dosažených výsledků a použitých programů. Při zpracovávání jednotlivých soustav byly (mimo jiné) výchozími příslušné normy a předpisy platící pro Českou republiku.

Klíčová slova

Elektroinstalace; energetická soustava; modelování soustav; ochrana před úderem blesku; projektování; vnitřní osvětlovací soustava; tepelné ztráty

Abstract

The aim of this thesis is to design and calculate the basic energy systems of a family house – specifically the electrical, lighting and heating system. In principle, the thesis focuses on designing tasks whilst being supplemented with theoretical introductions to the related issues. The realization of individual tasks is divided into complementary chapters which deal with their respective energy systems.

Firstly, this paper deals with the design of the electrical system, which includes basic electrical installation and a lightning protection system. Secondly, the lighting system in itself is modelled. Finally, the thermal rates are estimated and modelled as well. As such, the purpose of this thesis is to successfully model all three systems and present all the related issues to a wider audience. The model structure of this thesis is a family house, however the utilized procedures may be applied to different structures as well. The output of this thesis is a project documentation, which is included in its attachments. A brief conclusion of achieved goals and utilized software is included, too. As for the project itself, to the best of my abilities, it follows the recommended standards valid in the Czech republic.

Key words

Electrical installation; energy systems; system modelling; lightning protection system; designing; interior lighting system; heat loss

Obsah

Seznam použitých veličin a zkratk	8
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam zmíněných norem, zákonů a vyhlášek	12
Seznam použitých programů	13
Úvod	14
1. Seznámení se s modelovým objektem	15
2. Návrh elektrické soustavy	17
2.1 Návrh elektroinstalace	17
2.1.1 Problematika zřízení přípojky NN	18
2.1.2 Problematika charakteristik jistících prvků	19
2.1.3 Návrh jištění a přehled okruhů modelového domu	21
2.1.4 Specifikace připojení objektu k distribuční síti a vybrané místnosti	25
2.2 Ochrana před úderem blesku	29
2.2.1 Systém ochrany před bleskem	31
2.2.2 Vnější systém ochrany před bleskem	33
2.2.3 Vnitřní systém ochrany před bleskem	38
2.2.4 Návrh vnějšího systému ochrany před bleskem	42
3. Návrh světelné soustavy	49
3.1 Výchozí veličiny a pojmy pro návrh osvětlovací soustavy	49
3.2 Model vnitřní osvětlovací soustavy RD	54
4. Návrh tepelné soustavy	59
4.1 Výchozí veličiny a pojmy pro výpočet tepelných ztrát	59
4.2 Model tepelných ztrát RD	62
4.3 Model otopné soustavy	66
Závěr	68
Seznam použité literatury	69
Seznam příloh	70

Seznam použitých veličin a zkratek

Seznam zkratek

Zkratka	Význam	
1F	Jednofázový	
1P	Jednopolový	
3F	Trojfázový	
3P	Trojpólový	
ČSN	Česká technická norma	
DOP	Doplňkové ochranné pospojování	
DPS	Dokumentace pro provedení stavby	
DSP	Dokumentace pro stavební povolení	
DSPS	Dokumentace skutečného provedení stavby	
EMR	Elektroměr	
EP	Ekvipotenciální pospojování	
ER	Elektroměrový rozvaděč	
FA	Jistič	
FI	Proudový chránič	
FU	Pojistka / pojistkový odpojovač	
HDO	Hromadné dálkové ovládání	
HDS	Hlavní domovní skříň	
HDV	Hlavní domovní vedení	
HOP	Hlavní ochranné pospojování	
JT	Jímací tyč	
KM	Stykač	
L _{1,2,3}	Fáze L ₁ , L ₂ , L ₃	
LED	Světlo emitující dioda	[Light Emitting Diode]
LEMP	Atmosférické přepětí	[Lightning ElectroMagnetic Pulse]
LPL	Úroveň ochrany před bleskem	[Lightning Protection Level]
LPS	Systém ochrany před bleskem	[Lightning Protection System]
LPZ	Zóna ochrany před bleskem	[Lightning Protection Zone]
NT	Nízký tarif	
QM	Vypínač	
RD	Rodinný dům / rozvaděč domovní	
RG	Rozvaděč garážový	
SEMP	Spínací přepětí	[Switching ElectroMagnetic Pulse]
SPD	Přepětňové ochranné zařízení	[Surge Protection Device]
VT	Vysoký tarif	

Seznam veličin

Značka	Název	Jednotka
D	Činitel denní osvětlenosti	[%]
D_f	Koeficient soudobosti	[-]
E	Osvětlenost	[lx]
E	Energie	[J]
I	Elektrický proud	[A]
I	Svítivost	[cd]
k	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
L	Jas	[cd/m ²]
l	Délka / vzdálenost	[m]
P	Činný elektrický výkon	[W]
Q	Jalový elektrický výkon	[var]
Q	Teplo	[J]
q	Hustota tepelného toku	[W/m ²]
R	Elektrický odpor	[Ω]
r	Poloměr	[m]
R_a	Index podání barev	[-]
S	Zdánlivý elektrický výkon	[VA]
S	Obsah plochy	[m ²]
T	Termodynamická teplota	[K]
T_c	Teplota chromatičnosti	[K]
U	Elektrické napětí	[V]
U_0	Celková rovnoměrnost osvětlenosti	[-]
UGR	Činitel oslnění	[-]
V	Objem prostoru	[m ³]
Z	Impedance	[Ω]
α	Rovinný úhel	[°]
α	Součinitel přestupu tepla prouděním	[W/m ² K]
λ	Vlnová délka	[m]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]
ϱ	Světelná odrazivost	[-]
Φ	Světelný tok	[lm]
Φ	Tepelný tok	[W]
ϑ	Celsiova teplota	[°C]

**Duplicitní značky veličin se nacházejí ve svých příslušných kapitolách, pro zachování přehlednosti a správnosti nejsou vzájemně odlišeny.*

Seznam obrázků

Obr. 1 – Model objektu (pohled jihozápadní) [1].	15
Obr. 2 – Model objektu (pohled severozápadní) [1].	15
Obr. 3 – Model objektu (půdorys 1.NP) [1].	16
Obr. 4 – Konstrukční uspořádání a jednopólové schéma rozvaděče RE 2.1.	17
Obr. 5 – Poruchová smyčka v síti TN-S.	19
Obr. 6 – Ověření vyhovění impedance složených měděných kabelů při jištění B16.	20
Obr. 7 – Přehledová tabulka navrhovaných okruhů (Excel).	23
Obr. 8 – Přehledové schéma připojení objektu k distribuční síti.	25
Obr. 9 – Okruhy rozvaděče pro místnost 106.	26
Obr. 10 – Zásuvky a vývody v místnosti 106.	26
Obr. 11 – Model sítě v programu SICHR.	28
Obr. 12 – Celosvětová mapa úderů blesků na km ² za rok [4].	29
Obr. 13 – Izokeraunická mapa ČR [4].	29
Obr. 14 – Ilustrace členění prostorů do zón LPZ [5].	32
Obr. 15 – Ochranný úhel jímací soustavy (kužel a stan) [6].	33
Obr. 16 – Mřížová jímací soustava [6].	34
Obr. 17 – Návrh jímací soustavy metodou valící se koule [7].	34
Obr. 18 – Ochranný úhel jímací tyče v závislosti na její výšce a třídě LPS [6].	35
Obr. 19 – Způsob instalace svodů [5].	36
Obr. 20 – Klasifikace úseků domovních rozvodů dle odolnosti vůči přepětí [9].	38
Obr. 21 – Ilustrace umístění SPD v rozvodné síti.	39
Obr. 22 – Ilustrace provedení ekvipotenciálního pospojování soustavy [5].	41
Obr. 23 – Horní pohled na střechy objektů.	42
Obr. 24 – Výpočet izolační vzdálenosti v programu z portálu Kniska [5].	44
Obr. 25 – Zjednodušený výkres jímací a svodové soustavy (z výkresu č. 003).	45
Obr. 26 – Valící se koule, pohled severozápadní.	46
Obr. 27 – Detail valící se koule.	46
Obr. 28 – Zjednodušený výkres uzemňovací soustavy (z výkresu č. 002).	48
Obr. 29 – Vlnové délky spektra viditelného záření [10].	49
Obr. 30 – Porovnání rozdílu barevného vjemu při různých indexech podání barev [10].	51
Obr. 31 – Kruihoffův diagram [10].	51
Obr. 32 – 2D model osvětlovací soustavy.	54
Obr. 33 – 3D model osvětlovací soustavy – pohled boční.	54
Obr. 34 – 3D model osvětlovací soustavy – pohled dolní (1.NP).	55
Obr. 35 – 3D model osvětlovací soustavy – pohled dolní (2.NP).	55
Obr. 36 – Sumarizace modelu osvětlení.	56
Obr. 37 – Kusovník použitých svítidel.	56
Obr. 38 – 3D model osvětlovací soustavy – křivky svítivosti (m. č. 206).	57
Obr. 39 – 2D model osvětlovací soustavy – vypočtené hodnoty (m. č. 206).	57
Obr. 40 – 3D model osvětlovací soustavy – křivky svítivosti (m. č. 106).	58
Obr. 41 – 2D model osvětlovací soustavy – vypočtené hodnoty (m. č. 106).	58
Obr. 42 – Tepelný tok složenou rovinou stěnou [12].	59
Obr. 43 – Vedení tepla složenou rovinou stěnou a proudění [12].	60
Obr. 44 – Série tepelné odpory vedení a proudění složené rovinné stěny.	61
Obr. 45 – 2D model výpočtu tepelných ztrát (1.NP a 2.NP).	62
Obr. 46 – 3D model výpočtu tepelných ztrát (1.NP).	63
Obr. 47 – 3D model výpočtu tepelných ztrát (2.NP).	63
Obr. 48 – 2D model otopné soustavy (1.NP vlevo a 2.NP vpravo).	66
Obr. 49 – 3D model otopné soustavy.	66

Seznam tabulek

Tab. 1 – Seznam výstupní dokumentace.	16
Tab. 2 – Objekty a jejich odpovídající třídy LPS [5].	31
Tab. 3 – Přiřazení prostorů příslušným zónám LPZ [5].	32
Tab. 4 – Rozměr valící se koule a mřížové soustavy dle třídy LPS [5].	34
Tab. 5 – Ochranný úhel jímací tyče pro uvedené třídy LPS do výšky 2 m [6].	35
Tab. 6 – Maximální vzájemná obvodová vzdálenost svodů [7].	36
Tab. 7 – Doporučené materiálové kombinace pro konstrukci vnější LPS [8].	37
Tab. 8 – Klasifikace přepětí pro domovní rozvody [9].	38
Tab. 9 – Mezní hodnoty dotykových napětí dle typu prostředí [5].	40
Tab. 10 – Rozpis vytvořených konstrukcí modelu.	62
Tab. 11 – Bilance tepelných ztrát modelového domu.	64
Tab. 12 – Tepelné ztráty jednotlivých místností.	64
Tab. 13 – Přehled zvolených otopných těles.	67

Seznam zmíněných norem, zákonů a vyhlášek

ČSN 33 2000-4-41 ed. 2; ed. 3

Elektrické instalace nízkého napětí – Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem.

ČSN 33 2000-5-54 ed. 3

Elektrické instalace nízkého napětí – Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče.

ČSN 33 2000-6 ed. 2

Elektrické instalace nízkého napětí – Revize.

ČSN 33 2130 ed. 3

Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody.

ČSN 33 3320 ed. 2

Elektrotechnické předpisy – Elektrické přípojky.

ČSN EN 62305

Soubor norem: Ochrana před bleskem

62305-1 ed. 2 – Obecné principy.

62305-2 ed. 2 – Řízení rizika.

62305-3 ed. 2 – Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života.

62305-4 ed. 2 – Elektrické a elektronické systémy ve stavbách.

ČSN EN 12464-1

Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Vnitřní pracovní prostory.

ČSN 36 0011

Měření osvětlení vnitřních prostorů (soubor norem).

ČSN 73 0580

Denní osvětlení budov (soubor norem).

Zákon č. 458/2000 Sb.

Zákon o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon).

ČSN EN 12831-1

Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Tepelný výkon pro vytápění.

ČSN 06 0210

Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění.

Seznam použitých programů

<u>Název</u>	<u>Autor</u>
Microsoft Word	[Microsoft Corporation]
Microsoft Excel	[Microsoft Corporation]
PDFCreator	[pdfforge GmbH]
PDF-XChange Editor 7	[TERAGON SW s.r.o.]
AutoCAD LT 2019	[Autodesk, Inc.]
ElProCAD	[Astra MS Software s.r.o.]
VDV	[Ing. Milan Kaucký]
Klimsa SW	[Ing. David Klimša]
ReluxDesktop	[Relux Informatik AG]
Konfigurátor OEZ	[OEZ s.r.o.]
Sichr	[OEZ s.r.o.]
RauCAD TechCON	[Rehau s.r.o.]

**Prohlašuji, že při používání výše uvedených programů nedošlo k porušení licenčních smluv.*

Úvod

Motivace za výběrem tématu této diplomové práce vyplynula z mého zájmu o působení v oboru elektrotechnického projektování. Pracovní pozice projektanta mi ke konci roku 2018 byla nabídnuta firmou FMIB s.r.o. a po uplynutí zaučovacího období mi byl zadán oficiální projekt silnoproudé elektroinstalace novostavby rodinného domu, který jsem využil pro účely vypracování této diplomové práce. Hlavním cílem projektu (a rovněž této diplomové práce) je naplnění požadavků oficiálně zadané zakázky pro získání stavebního povolení. Pro stejný objekt jsou také zpracovány kapitoly zabývající se vnitřní osvětlovací soustavou a tepelnými ztrátami. Diplomová práce je tedy členěna na 3 hlavní kapitoly dle související soustavy – elektrická, světelná a tepelná.

Kapitoly, rozebírající konkrétní problematiku dané energetické soustavy, jsou členěny na úvodní teoretickou a následující praktickou část. Teoretická část obsahuje základní informace potřebné pro řešení dané problematiky. Navazující je praktická část, která tyto podklady využívá pro řešení konkrétní úlohy.

Elektrická soustava zahrnuje kapitoly návrhu elektroinstalace a ochrany před úderem blesku. V rámci elektroinstalace se teoretická část zabývá připojením objektu k distribuční síti, problematikou návrhu domovních okruhů a detailnějším rozбором volby jistících prvků. V rámci ochrany před úderem blesku jsou řešeny teorie systémů vnitřní a vnější ochrany před bleskem. Praktická část obou kapitol je zpracována v programu AutoCAD LT 2019 ve formě výkresové dokumentace.

V kapitole světelné soustavy je řešena problematika návrhu osvětlovací soustavy vnitřních prostorů rodinného domu. Teoretická část shrnuje základní pojmy a veličiny potřebné pro pochopení postupů a zásad při osvětlování vnitřních prostorů a vzájemnou vazbu mezi denním a umělým osvětlením. Rovněž jsou stručně klasifikovány umělé světelné zdroje. Praktická část, vycházející z teoretických poznatků, je následně modelována v programu ReluxDesktop.

V rámci teorie tepelné soustavy je řešena problematika výchozích veličin a stěžejních způsobů výpočtu tepelných ztrát vedením a prouděním, které jsou podrobně popsány vzorci a následně aplikovány v praktické části při modelování tepelných ztrát a otopné soustavy objektu v programu RauCAD TechCON.

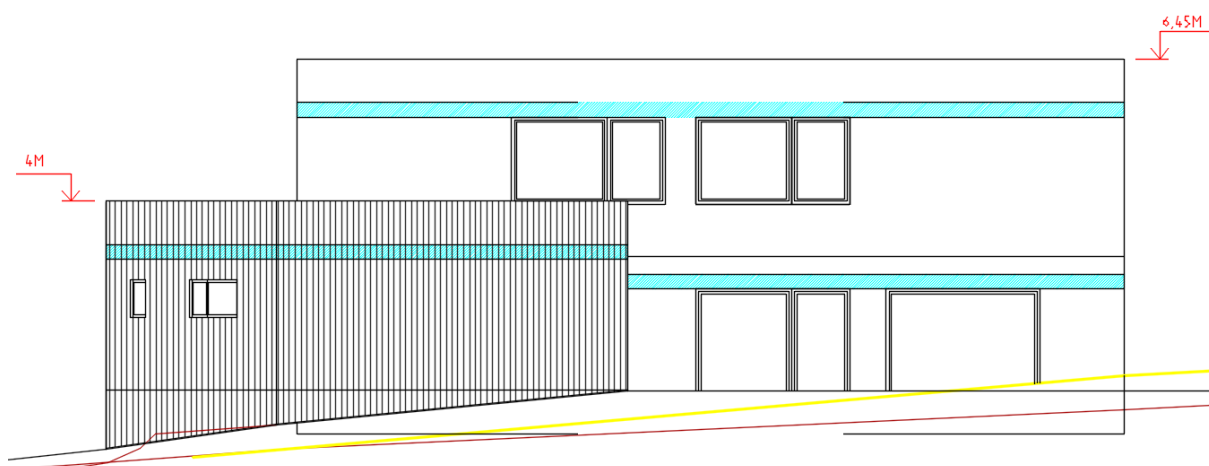
1. Seznámení se s modelovým objektem

Návrhový model této diplomové práce vyplývá ze zakázky zadané firmě FMIB, vyžadující návrh silnoproudé soustavy rodinného domu pro získání stavebního povolení. Ze stavební dokumentace lze vyčíst patřičné údaje – jedná se o dvoupatrový rodinný dům s garáží, jehož vytápění je realizováno pomocí tepelného čerpadla se střešní venkovní jednotkou. Střechy obou objektů jsou ploché – bez hřebenů. Připojení objektu k distribuční síti má být zajištěno podzemním kabelovým přívodem z nedalekého sloupu.

Zastavěná plocha domu: 140,4 m².
Zastavěná plocha garáže: 62,4 m².
Celková plocha pozemku: 1160,8 m².

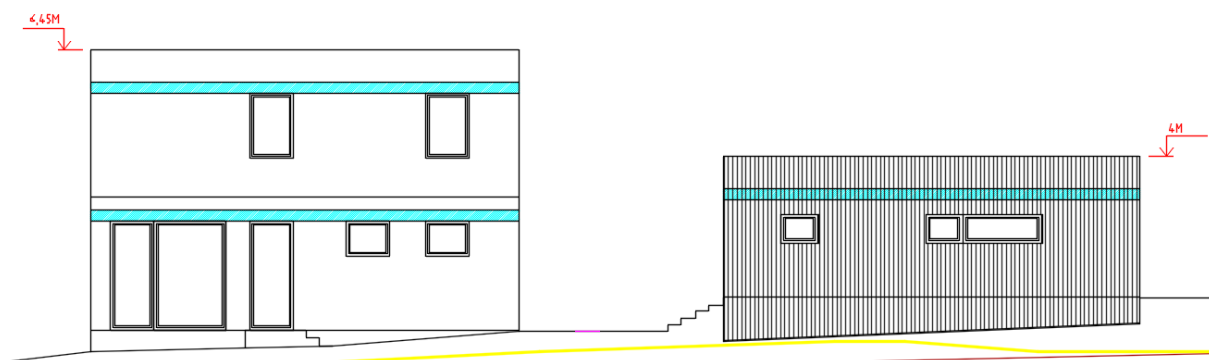
Plášťový objem domu: 870,24 m³.
Plášťový objem garáže: 249,6 m³.

POHLED JIHOZÁPADNÍ

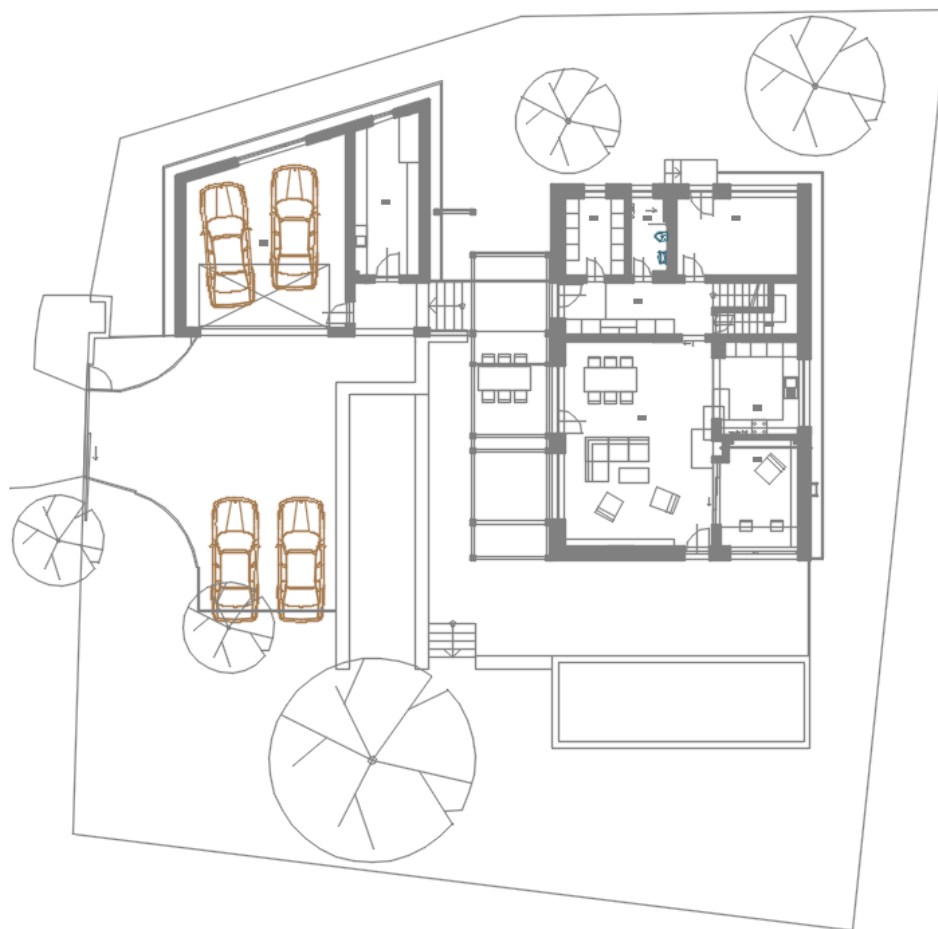


Obr. 1 – Model objektu (pohled jihozápadní) [1].

POHLED SEVEROZÁPADNÍ



Obr. 2 – Model objektu (pohled severozápadní) [1].



Obr. 3 – Model objektu (půdorys 1.NP) [1].

Pro základní představu o rozsahu celého projektu do této úvodní sekce přikládám přehled výstupní dokumentace po zpracování projektu:

Tab. 1 – Seznam výstupní dokumentace.

Název výkresu	Číslo výkresu	Měřítko	Formát
Technická zpráva	10/18-01-DSP-D118-001	-	8xA4
Uzemnění	10/18-01-DSP-D118-002	1:100	297x550
Hromosvod	10/18-01-DSP-D118-003	1:100	297x550
Sílnoproud 1.NP	10/18-01-DSP-D118-004	1:50	841x841
Sílnoproud 2.NP	10/18-01-DSP-D118-005	1:30	594x594
Slaboproud 1.NP	10/18-01-DSP-D118-006	1:50	841x594
Slaboproud 2.NP	10/18-01-DSP-D118-007	1:30	594x594
Rozvaděče	10/18-01-DSP-D118-008	-	420x800

Z Tab. 1 je patrné, že součástí oficiální dokumentace není návrh osvětlovací soustavy či výpočty týkající se tepelných ztrát a návrhu otopné soustavy. Tyto dvě části jsem navrhnul nad rámec zadání pro účely diplomové práce. V rámci projektu byly rovněž řešeny rozvody slaboproudu, nejsou však součástí diplomové práce. Schémata a výkresy uvedené v následujících kapitolách budou pro zachování přehlednosti zjednodušené, nezjednodušenou dokumentaci lze nalézt v přílohách této DP.

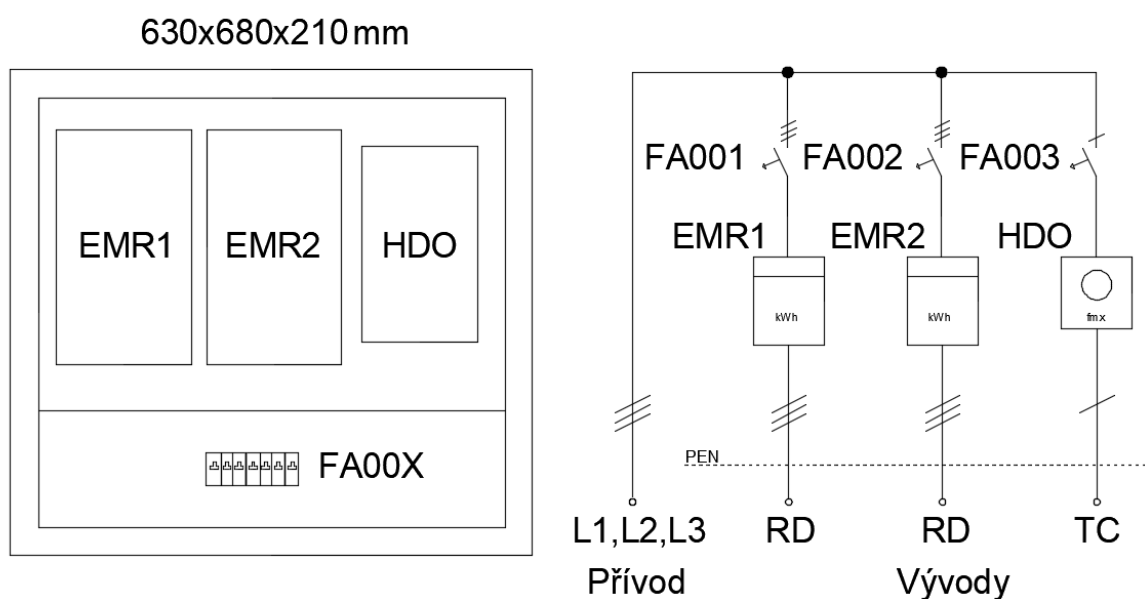
2. Návrh elektrické soustavy

Kapitolu návrhu elektrické soustavy lze rozdělit na dvě dílčí části: návrh elektroinstalace a návrh ochrany před úderem blesku.

2.1 Návrh elektroinstalace

Výkresová dokumentace elektroinstalace je zpracována v prostředí AutoCAD. Vypracování této části projektu jsem začal zakreslením prostorového rozmístění světelných vývodů, elektrických vývodů a zásuvek dle typů místností a předpokládaných požadavků budoucího majitele. Zároveň jsem také očísloval jednotlivé okruhy a nakreslil předběžné schéma domovního rozvaděče. Pro výpočty výkonových bilancí jsem vytvořil tabulku se seznamem a popisky okruhů, kterým jsem přidělil odpovídající předpokládaný výkon odebíraný ze sítě s ohledem na soudobost využití (Obr. 7).

Návrh oproti klasickému rodinnému domu mírně komplikuje skutečnost, že majitel chce pro vytápění a ohřev vody využívat tepelné čerpadlo, jehož připojení jsem se rozhodl realizovat zvolením elektroměrového rozvaděče, do kterého lze umístit dva elektroměry a jednotku HDO. V katalogu firmy ELCOMP s.r.o. jsem našel odpovídající rozvaděč s typovým označením RE 2.1, který splňuje požadavky na jeho osazení.



Obr. 4 – Konstrukční uspořádání a jednopólové schéma rozvaděče RE 2.1.

2.1.1 Problematika zřízení přípojky NN

Připojovací podmínky jsou souborem pravidel a podmínek pro připojení objektu k distribuční síti. Výchozími podklady pro řešení této problematiky jsou **ČSN 33 3320 ed. 2**, **ČSN 33 2130 ed. 3** a energetický zákon **č. 458/2000 Sb.**, který mimo jiné také popisuje práva a povinnosti smluvních subjektů. Náklady na zřízení přípojky hradí subjekt, v jehož prospěch je přípojka zřízena – zároveň se také stává jejím vlastníkem a má na starost zajištění jejího provozu, údržby a revizí. Začátek přípojky je v místě odbočení od rozvodného zařízení dodavatele energie. Konec přípojky je v HDS [2].

Hlavní domovní skříň (HDS)

Funkcí HDS je jištění přívodního vedení objektu proti přetížení a zkratu. Zároveň umožňuje odpojení napájeného objektu od distribuční soustavy. Skříň může být připojena k venkovnímu nebo kabelovému vedení, z čehož vyplývají požadavky na její umístění. Vždy se však musí nacházet na přístupném místě. Nominální hodnota pojistek v HDS se volí dle jmenovité řady IEC, je však vždy minimálně o jeden nebo o dva stupně výše, než je hodnota jističe před elektroměrem (selektivita) [2].

Hlavní domovní vedení (HDV)

HDV je klasifikováno jako vedení od HDS až k odbočce k poslednímu elektroměru. Zřizuje se pro více, než tři odběrná místa a jeho provedení musí být v soustavě TN-C. Jeho minimální průřez v měděném provedení musí být 10 mm², případně 16 mm² v provedení hliníkovém. Musí být vedeno co nejkratší trasou, vně budovy ve volně dostupném prostoru, aby byla ztížena možnost neoprávněného odběru elektřiny (tato část elektrovedné trasy je před elektroměry – odběr z ní je klasifikován jako krádež). Průřez musí být v celé délce stejný, s výjimkou zaplombované odbočky k elektroměru [2].

Odbočky k elektroměrům

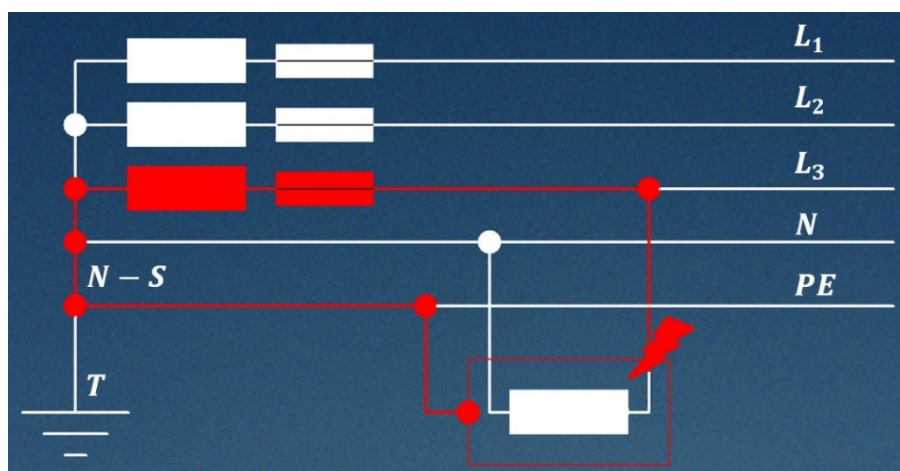
Odbočky jsou buďto vedení odbočující z HDV k elektroměrům (např. bytový dům), nebo přímo vycházejí z HDS (např. rodinný dům). Musí být, stejně jako HDV, realizovány v soustavě TN-C. Přímo z HDS lze realizovat maximálně 3 odběrná místa (pokud HDS umožňuje 3 sady pojistek). Minimální průřez odbočky v měděném provedení je 6 mm², v případě délky nad 15 m však musí být 10 mm². Odbočky z HDV delší, než 3 m, musí být jištěny v místě odbočení jistícím prvkem s označením „jištění odbočky“. Musí být umístěny tak, aby byl ztížen neoprávněný odběr. Jednofázové odbočky je nutno rovnoměrně rozdělit mezi fáze HDV. Maximální jištění jednofázové odbočky je 25 A – pro vyšší jmenovitou hodnotu jističe je potřeba realizovat odbočku trojfázově [2].

Elektroměrový rozvaděč (ER)

Musí být umístěn tak, aby byl dodavateli energie trvale přístupný (většinou na hranici pozemku). Jsou kladeny požadavky na jeho konstrukční rozměry, rozměry přístupové oblasti, krytí IP a na umístění svorkovnice PEN. Rozvaděče musí být typově odzkoušeny a schváleny, se zkratovou odolností minimálně 10 kA. Přívod ER musí být realizován soustavou TN-C, vývod již lze rozdělit na TN-S. Musí být respektován správný sled fází (L1, L2, L3). Součástí ER je jištění HDO (více o HDO v podkapitole 2.1.3) [2].

2.1.2 Problematika charakteristik jisticích prvků

Při volbě NN jisticů zpravidla volíme mezi vypínacími charakteristikami typu B a C (výjimečně také D), ze kterých vyplývá, při jakém násobku jmenovitého proudu jistič (resp. výrobce) garantuje vypnutí obvodu v předepsaném čase, který v případě sítě 230/400 V činí 0,4 s. Obdobně lze v případě pojistek vypínací časy vyčíst z jejich katalogových ampérsekundových charakteristik. Obecně používáme jistič typu B (garantované vypnutí v požadovaném čase při pětinasobku I_n) pro obvody bez proudových rázů a jistič typu C (garantované vypnutí v požadovaném čase při desetinásobku I_n) pro obvody s proudovými rázy. Většina domácích spotřebičů má buďto malý příkon, nebo je čistě činného charakteru – proudové rázy tedy nemusíme řešit. Výjimkou jsou však například trojfázové zásuvky, u kterých předpokládáme připojení náročnějších spotřebičů, mnohdy induktivního charakteru. Příkladem je spuštění kotoučové pily, u které je v momentu sepnutí motor ve stavu nakrátko – vinutím krátkodobě protéká až desetinásobek jmenovitého proudu. Tento krátkodobý nadproud může způsobit vybavení jisticího prvku (zejména v případě pil starých, pil bez přepínače Y/D a pil s velkými příkony). Často se také stává, že je při řezání pilový kotouč nadměrně zatížen či se krátkodobě úplně zasekne – volba charakteristiky C pro jištění trojfázové zásuvky může být zásadním rozdílem mezi pohodlnou prací a častou návštěvou rozvaděče. Obdobně použijeme charakteristiku C u obvodu s indukčním sporákem – důvod vyplývá již z jeho samotného názvu. U delších rozvodů však musíme dbát na skutečnost, že jistič s charakteristikou typu C zkracuje maximální dovolenou délku přívodního kabelu, oproti jističi typu B, a to kvůli vyhovění výpočtu impedance poruchové smyčky (impedance smyčky musí být tím nižší, čím vyšší potřebujeme poruchový proud pro vybavení jisticího prvku). V případě nevyhovění této impedance musíme zvolit vyšší průřez části nebo celého vedení, snížit jmenovitý proud jističe, realizovat uzemnění neživých částí na straně spotřebiče nebo pro zajištění ochrany osob použít doplňkovou ochranu proudovým chráničem.



Obr. 5 – Poruchová smyčka v síti TN-S.

Podmínka impedance poruchové smyčky:

$$Z_s \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{U_0}{I_a} \quad (3.1)$$

Z_s (Ω) = Impedance poruchové smyčky.

$\frac{2}{3}$ (-) = Bezpečnostní koeficient.

U_0 (V) = Jmenovité fázové napětí sítě.

I_a (A) = Vypínací proud jisticího prvku.

Bezpečnostní koeficient zahrnuje předpokládaný nárůst odporu vedení v důsledku oteplení, složku přechodových odporů a napěťový součinitel zatížení sítě.

Příklad výpočtu Z_S pro jištění B16:

$$Z_{SB16} \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{230}{5 \cdot 16} \doteq 1,92 \, \Omega$$

Příklad výpočtu Z_S pro jištění C16:

$$Z_{SC16} \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{230}{10 \cdot 16} \doteq 0,96 \, \Omega$$

Ověření složených průřezů výpočtem impedance		
S kabelu 1	4 mm ²	
L kabelu 1	125 m	
S kabelu 2	2,5 mm ²	
L kabelu 2	25 m	
Z délky 1+2	0.763125 ohm	
Z L-PE	1.52625 ohm	
Jištění (A)	16 B	
Max. Z dle projektanta	1.492375	NEVYHOVĚLO
Max. Z dle rev. technika	1.876667	VYHOVĚLO

Obr. 6 – Ověření vyhovění impedance složených měděných kabelů při jištění B16.

Výsledky výpočetních rovnic na Obr. 6, pocházející z Excelu, slouží pro návrh jištění okruhů a průřezů jejich měděných kabelových žil. V tabulce je uveden příklad výpočtu impedance 150m kabelové trasy ze složených vodičů s průřezem 4 a 2,5 mm². Může se jednat například o zásuvkový okruh, jehož 125m část tvoří páteřní vedení, ze kterého jsou příklady do zásuvek realizovány průřezem 2,5 mm². Celková vzdálenost 150 m představuje nejvzdálenější úsek, ve kterém v daném okruhu může nastat porucha. Výsledná zjednodušená impedance smyčky je pak dána součtem impedancí délek fázového a ochranného vodiče, které činí 250 m v průřezu 4 mm² a 50 m v průřezu 2,5 mm².

Výpočet na Obr. 6 vyhovuje měření revizního technika, nevyhovuje však výpočtu pro projektanta. Maximální impedance dle projektanta je dána snížením bezpečnostního koeficientu o 20 %, vyplývajícím z normy **ČSN 33 2000-6 ed. 2**, sloužícím pro započítání přechodových impedancí v celé trase vedení. Pokud se jedná o vedení bez přerušení (respektive bez přechodů a spojů), pak je možné se při návrhu přiblížit k maximální hodnotě impedance dle revizního technika. Typickým představitelem okruhu s velkým počtem přechodových impedancí jsou světelné okruhy, které zahrnují velké množství svorkových spojů.

Lze si také všimnout, že maximální impedance dle revizního technika neodpovídá uvedenému příkladu výpočtu pro jistič B16 – je nižší o hodnotu 0,04 Ω, uvažující vnitřní impedanci napájecího rozvaděče (respektive napájecího transformátoru).

Na impedanci poruchové smyčky je zapotřebí dbát ohled zejména při navrhování okruhů v rozlehlých průmyslových areálech, ve kterých trasy mohou dosahovat délek stovek metrů. Při návrhu domovních rozvodů, řádově v desítkách metrů, se zřídka setkáme s nevyhovující impedancí vyplývající z délek vodičů – většinou se spíše jedná o chybnou instalaci.

2.1.3 Návrh jištění a přehled okruhů modelového domu

Při návrhu hlavního jističe před elektroměrem (FA001 a FA002) vycházíme z instalovaného příkonu objektu s ohledem na hospodárnost provozu a ekonomickou stránku provedení elektroinstalace. Čím vyšší je stupeň jištění, tím dražší jsou měsíční poplatky dodavateli. Zároveň by předimenzováním průřezu kabelového přívodu značně stoupla jeho cena. Dimenzování rozvodů na celý instalovaný příkon všech spotřebičů a okruhů je tedy značně nevhodné. Je téměř nemožné, aby všechny spotřebiče současně odebíraly svůj jmenovitý příkon – při dimenzování tedy používáme **koefficient soudobosti D_f (-)**, který nám přibližně určuje časové využití instalovaného příkonu spotřebiče (respektive okruhu). Soudobost spotřebičů (okruhů) se liší dle jejich typu a umístění. Pro určení požadované hodnoty jištění jsem vytvořil tabulku, ve které jsem rozepsal jednotlivé okruhy. Hodnoty příkonů a soudobostí jsem volil dle vlastních zkušeností z praxe a dohledaných tabulkových hodnot.

Návrh hlavního jištění a přehled okruhů FA001 pro EMR1

Zásuvkové a vývodové okruhy

Okruhy zásuvek a vývodů jsou rozděleny dle místností a typů spotřebičů, které na ně budou připojeny. Všechny zásuvkové okruhy musí být osazeny proudovým chráničem a dle normy **ČSN 33 2130** můžeme na jeden okruh připojit maximálně 10 zásuvek, přičemž dvojité zásuvky je klasifikována jako jedna zásuvka. Přesnější je však uvést, že instalovaný příkon jednoho okruhu nesmí překročit 3680 VA při jmenovitém jištění 16 A.

Přívody jednofázových zásuvek jsou typicky vedeny kabelem CYKY-J 3x2,5 mm² s jištěním B16/1. Zapojení chrániče zásuvkového okruhu lze provést třemi způsoby. První možností je použití kombinovaného chrániče s nadproudovou ochranou (tzv. jističochránič). Druhou volbou je trojfázový chránič, na jehož fáze jednotlivé okruhy symetricky rozdělíme a třetí možností je použití jednofázového chrániče a jističe zvlášť, v rozvaděči se však při tomto zapojení nachází jeden modul navíc. Rozhodnul jsem se pro zapojení obecných zásuvkových okruhů přes trojfázový chránič. Jmenovitý proud trojfázového chrániče zvolíme dle jmenovitého odběru na něm připojených okruhů s ohledem na předřadné jištění. V našem případě jsou zásuvkové okruhy jištěny jističem B16 a bude vhodné přiřadit 2 okruhy na jednu fázi proudového chrániče, jejich nominální součet tedy činí 32 A, nicméně výchozí předpoklad pro hlavní jistič FA001 bude 3x25 A. Nepředpokládá se budoucí navýšení hodnoty hlavního jističe, vyhovující bude volba chrániče FI 3x25 A / 30mA – vyšší (neporuchový) proud, než 25 A, žádnou z fází nebude procházet. Hlavní jistič nám tak zároveň bude jistit jednotlivé chrániče a nebudeme před ně muset předřazovat jištění prvky FU či FA zvlášť.

Dalším pravidlem dle **ČSN 33 2130** je požadavek, aby spotřebiče se jmenovitým výkonem vyšším, než 2000 VA, měly svůj vlastní okruh – tedy spotřebiče typu myčka, trouba, pračka, sušička, mikrovlnná trouba a další. Vlastní okruh však také musí mít spotřebiče typu chladnička a mrazák, aby jiný spotřebič v okruhu nezpůsobil vybavení jističe či chrániče, v důsledku čehož by mohlo dojít ke hmotné škodě. V praxi se někdy jističe pro okruhy, na kterých by mohla vzniknout hmotná škoda, dávají v rozvaděči mimo modulovou řadu zvlášť, aby bylo patrné, že se jedná o okruhy, u kterých je zachování napájení důležité.

Trojfázové zásuvky mohou být dle předpokládaného příkonu spotřebiče vedeny kabelem CYKY-J 5x2,5 mm² s jištěním C16/3 nebo CYKY-J 5x4mm² s jištěním C20/3 přes trojfázový chránič o stejné nominální hodnotě proudu.

Světelné okruhy

Vnitřní svítidla rodinného domu jsou rozdělena na 4 okruhy – 2 okruhy na každé patro, aby v případě výpadku jednoho světelného okruhu bylo k dispozici orientační osvětlení z okruhu druhého. Světelné rozvody budou vedeny kabelem CYKY-J (případně CYKYLO pod omítkou) 3x1,5 mm² za použití proudových chráničů s nadproudovou ochranou B10/003. U osvětlení nelze použít rozdělení okruhů na trojfázový chránič, protože by při jeho výpadku došlo k úplnému „blackoutu“ celého domu, což je nepřijatelné. Dva světelné podokruhy (1e a 3b) jsou ovládány přes impulzní relé (stisknutí tlačítka osvětlení zapne, opětovný stisk tlačítka osvětlení vypne). Je také vhodné zmínit, že od roku 2018 platí upravená norma **ČSN 33 2000-4-41 ed. 3**, která stanovuje:

„V prostorech určených pro samostatnou domácnost musí být doplňková ochrana pomocí proudového chrániče, jehož jmenovitý reziduální pracovní proud nepřekračuje 30 mA, zajištěna pro koncové obvody napájející svítidla“.

Součástí jištění domovních světelných okruhů tedy nově od roku 2018 musí být proudový chránič.

Slaboproudé okruhy

V rozvaděči se budou nacházet okruhy s jištěním B6/003 pro napájení slaboproudých systémů:

- Napájení kamerového systému – CCTV s technologií PoE a nahráváním záznamu.
- Napájení poplachové ústředny – PIR detektory, ovládací klávesnice, požární hlásiče.
- Napájení systému STA – společná televizní anténa.
- Napájení systému strukturované kabeláže.

Přepět'ová ochrana

Přepět'ová ochrana bude umístěna za hlavním vypínačem QM1 v domovním rozvaděči, realizována zařízením FLP-B+C MAXI VS/3 (I. a II. stupeň ochrany) od firmy Saltek. Lokální přepět'ové ochrany třídy 3 si může majitel v blízkosti zásuvek nechat nainstalovat dle vlastních potřeb.

Garáž

Garáž bude napájena vlastním podružným garážovým rozvaděčem, připojeným přes 3P pojistkový odpojovač FU.RG (20 A) k rozvaděči RD kabelem CYKY-J 5x4 (TN-S).

EMR1																
Rozvaděč	Číslo okruhu	Typ kabelu	Průřez kabelu	Typ spotřebiče	Počet	Fáze	P _i [kW]	D _f	I-L1 [A]	I-L2 [A]	I-L3 [A]	I ₀ -L1 [A]	I ₀ -L2 [A]	I ₀ -L3 [A]	P _s [kW]	U [V]
							39,2	0,40	58,1	59,3	62,0	23,9	23,5	24,9	15,8	
RD	1	CYKY-J	3x1,5	Osvětlení 1NP 1/2	10	L1	0,1	0,7	0,5			0,3			0,1	230
RD	2	CYKY-J	3x1,5	Osvětlení 1NP 2/2	9	L2	0,1	0,7		0,5			0,3		0,1	230
RD	3	CYKY-J	3x1,5	Osvětlení 2NP 1/2	9	L3	0,1	0,7			0,5			0,3	0,1	230
RD	4	CYKY-J	3x1,5	Osvětlení 2NP 2/2	13	L1	0,1	0,7	0,6			0,4			0,1	230
RD	5	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 102, 103 (šatna, koupelna)	5	L1	2,0	0,3	9,2			2,7			0,6	230
RD	6	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 101,104 (chodba, posilovna)	8	L2	2,0	0,3		9,2			2,7		0,6	230
RD	7	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 105, 107 (obývací, pracovna)	10	L3	2,0	0,4			9,2			3,7	0,8	230
RD	8	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 106 (kuchyň)	7	L1	2,0	0,3	9,2			2,7			0,6	230
RD	8.1	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvka - 106 (kuchyň - lednička)	1	L1	1,0	0,8	4,6			3,7			0,8	230
RD	8.2	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvka - 106 (kuchyň - myčka)	1	L2	1,5	0,6		6,9			4,1		0,9	230
RD	8.3	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvka - 106 (kuchyň - trouba)	1	L3	2,0	0,6			9,2			5,5	1,2	230
RD	8.4	CYKY-J	5x2,5	400V Vývod - 106 (kuchyň - indukce)	1	3P	6,0	0,5	9,1	9,1	9,1	4,6	4,6	4,6	3,0	400
RD	9	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 203, 204 (ložnice, šatna)	5	L1	2,0	0,3	9,2			2,7			0,6	230
RD	10	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 205,206,207 (pokoj)	9	L2	2,0	0,3		9,2			2,7		0,6	230
RD	11	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 202,209,210,211	9	L3	2,0	0,3			9,2			2,7	0,6	230
RD	12	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 208 (tech. místnost)	4	L1	2,0	0,3	9,2			2,7			0,6	230
RD	12.1	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 208 (tech. Místnost - pračka)	1	L2	2,4	0,4		11,0			4,4		1,0	230
RD	12.2	CYKY-J	3x2,5	230V Zásuvky - 208 (tech. Místnost - sušička)	1	L3	2,4	0,4			11,0			4,4	1,0	230
RD	13	CYKY-J	3x2,5	Ventilátory	2	L1	0,2	0,8	0,9			0,7			0,2	230
RD	14	CYKY-J	3x2,5	Osvětlení venkovní	10	L2	0,1	0,7		0,5			0,3		0,1	230
RD	15	CYKY-J	3x2,5	230V Venkovní zásuvky	2	L3	2,0	0,3			9,2			2,7	0,6	230
RD	16	CYKY-J	3x1,5	Napájení - záznamové zařízení CCTV (PoE)	1	L1	0,2	1,0	0,9			0,9			0,2	230
RD	17	CYKY-J	3x1,5	Napájení - poplachová ústředna	1	L2	0,2	1,0		0,9			0,9		0,2	230
RD	18	CYKY-J	3x1,5	Napájení STA	1	L1	0,1	1,0	0,5			0,5			0,1	230
RD	19	CYKY-J	3x1,5	Napájení - strukturovaná kabeláž	1	L1	0,2	1,0	0,9			0,9			0,2	230
RG	01	CYKY-J	3x1,5	RG Osvětlení garáž	7	L1	0,1	0,7	0,5			0,3			0,1	230
RG	02	CYKY-J	3x2,5	RG Zásuvky garáž	5	L2	2,0	0,3		9,2			2,7		0,6	230
RG	03	CYKY-J	5x2,5	RG 3F zásuvka garáž	1	3P	2,0	0,2	3,0	3,0	3,0	0,6	0,6	0,6	0,4	400
RG	04	CYKY-J	3x1,5	RG Pohon brány a vrat	1	L3	0,4	0,2			1,8			0,4	0,1	230

Obr. 7 – Přehledová tabulka navrhovaných okruhů (Excel).

Tabulka popisuje rozdělení a zatížení okruhů rozvaděčů RD a RG napájených přes elektroměr EMR1. Hodnoty v modrých buňkách udávají sumární výsledek v daném sloupci – celkový instalovaný příkon domovních rozvodů činí 39,2 kW. Pro dimenzování však použijeme výpočtový výkon o hodnotě 15,8 kW, který vychází ze soudobosti jednotlivých okruhů, respektive celkové soudobosti $D_f = 0,4$. Sloupce I_{B-L1} , I_{B-L2} a I_{B-L3} ukazují proudové zatížení jednotlivých fází při započtení koeficientu soudobosti. Pro zajištění symetrie zatížení by mezi těmito hodnotami neměl být velký rozdíl, při návrhu tedy musíme dbát na vhodné rozfázování okruhů. Z tabulky vyplývá, že vyhovující jmenovitá hodnota hlavního jističe **FA001** bude **3x25 A**, což typově většímu rodinnému domu odpovídá. Rezervovaný příkon tedy bude činit 17,25 kVA.

Návrh hlavního jištění a přehled okruhů FA002 pro EMR2

Tepelné čerpadlo

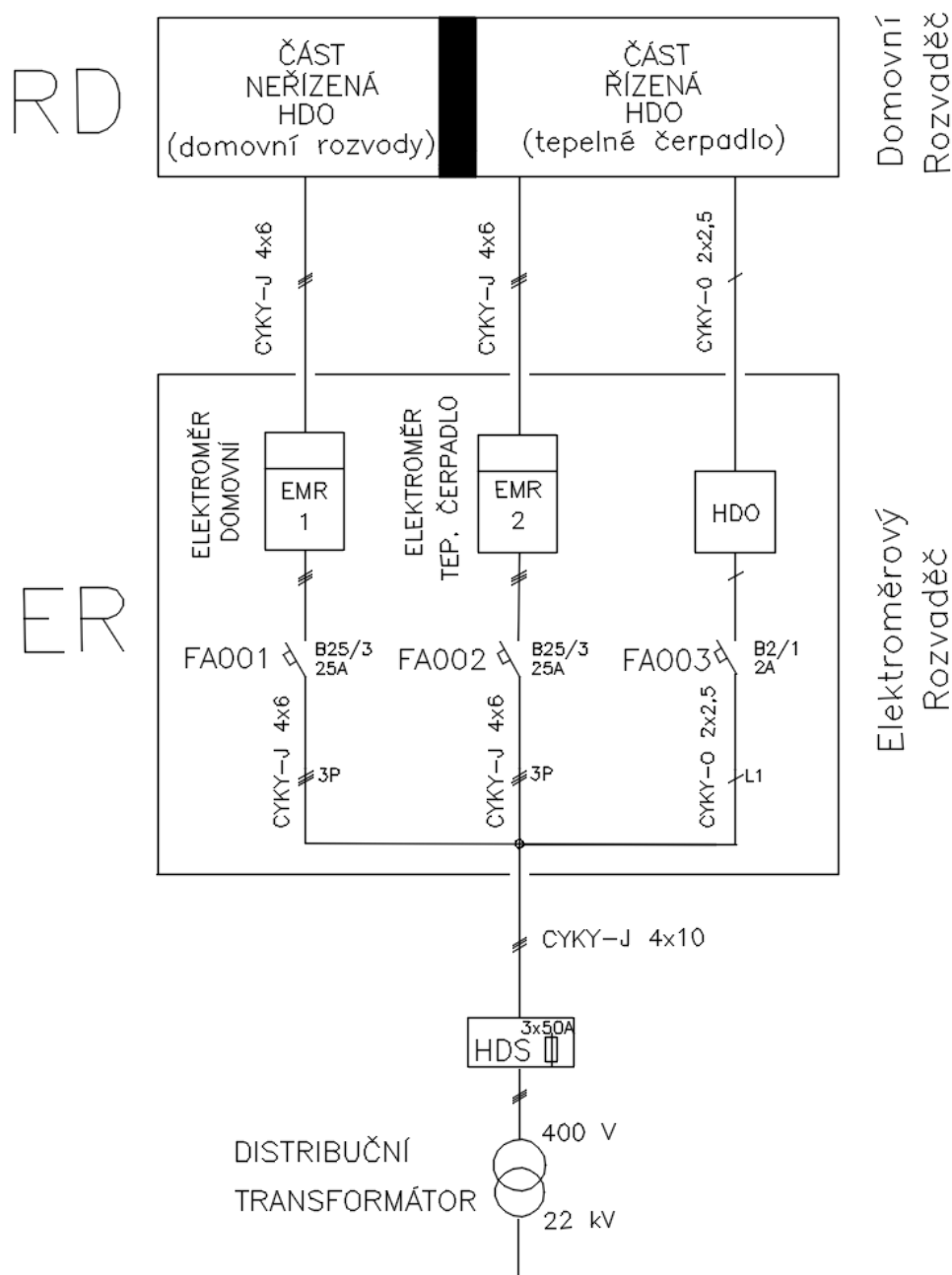
Vytápění a ohřev vody v objektu budou řešeny pomocí tepelného čerpadla, skládajícího se ze dvou jednotek – vnitřní ovládací a venkovní pracovní. Tepelné čerpadlo se všemi jeho souvisejícími prvky bude připojeno přes vlastní elektroměr a tedy také svůj vlastní hlavní jistič. Vnější (střešní) jednotkou bude zařízení Daikin Altherma ERLQ-CW1 s doporučeným jištěním 20 A. Zařízení je vybaveno elektrickým dohřevem s celkovým maximálním příkonem 9 kW. Přepínání mezi vysokým a nízkým tarifem a řízení vnitřní jednotky bude realizováno pomocí systému hromadného dálkového ovládání (HDO), který bude zajišťovat spínání příslušných stykačů. Z výše uvedených poznatků vyplývá, že vyhovující jmenovitá hodnota hlavního jističe **FA002** bude taktéž **3x25 A**.

Hromadné dálkové ovládání (HDO)

HDO slouží k dálkové regulaci odběru energie u spotřebitelů připojených k síti. Princip HDO spočívá v přenosu informace skrze silové vedení. Elektrický signál o frekvenci řádově ve stovkách Hz je v rozvodně VN transponován na síťovou frekvenci (50 Hz) a vysílačem vyslán do každé fáze, jimiž se šíří do distribučních trafostanic 22/0,4 kV, ze kterých pokračuje k přijímačům HDO umístěným u spotřebitele. Po přijetí signálu přijímačem dojde k vypnutí nebo zapnutí ovládaných stykačů a přepnutí odběrového tarifu. Dosah signálu je v desítkách až stovkách km a spínání je hromadné – na jeden vyslaný signál reagují všechny přijímače nastavené na danou frekvenci. Systém HDO u domovních rozvodů slouží k regulaci odběru dle potřeb distributora, dálkově lze spínat spotřebiče v době, kdy provoz energeticky náročných zařízení distributorovi vyhovuje – tedy v době mimo špičku zatížení pro zajištění rovnoměrnosti odběru. Spotřebiteli je tak pomocí HDO umožněn provoz zařízení při zvýhodněném tarifu. Signál HDO přepíná mezi vysokým (VT) a nízkým (NT) tarifem a zároveň může zabránit v provozu energeticky náročných zařízení. Tímto způsobem bývají nejčastěji ovládány elektrické přímotopy, bojler, elektrokotle a tepelná čerpadla. Časy spínání závisejí na distributorovi a lokalitě, ve které je HDO umístěno. Rozpis spínacích časů lze vyčíst na stránkách distributora po zadání identifikačního kódu HDO zařízení [3].

2.1.4 Specifikace připojení objektu k distribuční síti a vybrané místnosti

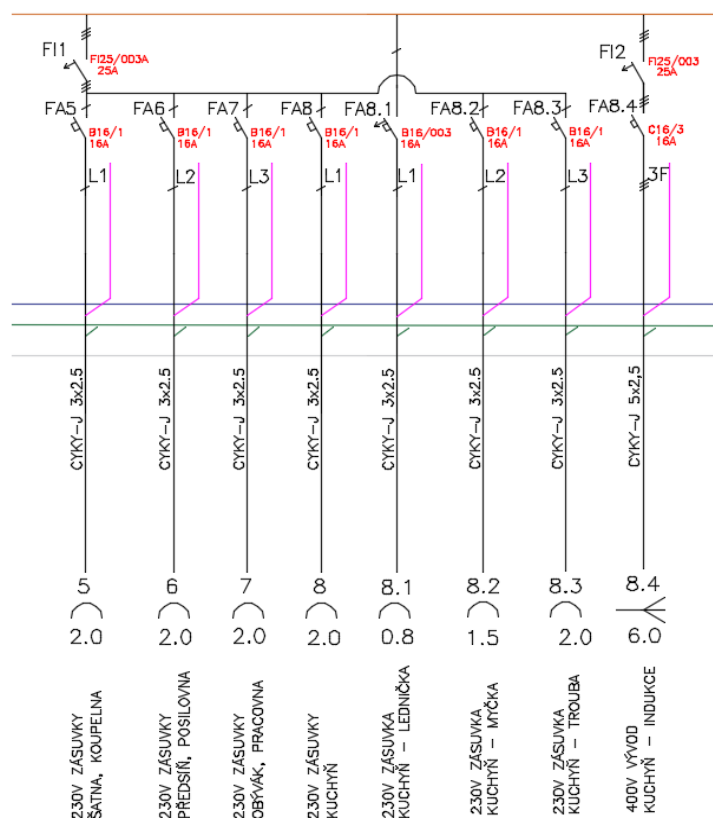
Z předchozí kapitoly vyplývá, že zodpovědná osoba musí distribuční společnosti podat požadavek na zřízení přípojky s dvěma trojfázovými elektroměrovými jističi o jmenovitých proudech 3x25 A. Elektroměry se společně s těmito jističi budou nacházet v elektroměrovém rozvaděči v betonové zídce na hranici objektu, skříň HDS se bude nacházet na veřejném sloupku umístěném mimo pozemek objektu.



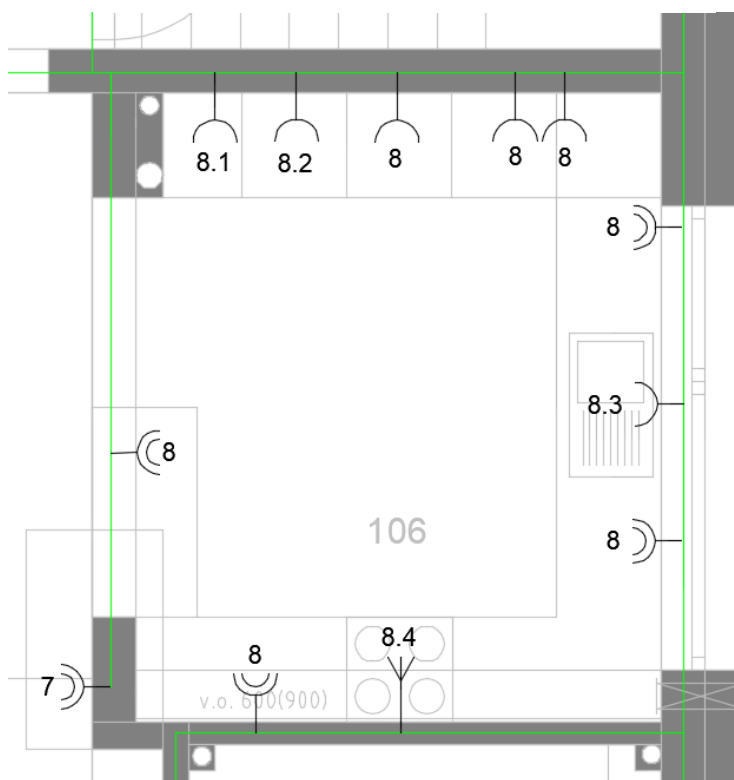
Obr. 8 – Přehledové schéma připojení objektu k distribuční síti.

**Výkresovou dokumentaci elektroinstalace nelze z důvodu nečitelnosti na rozměru A4 v DP uvést, lze ji tedy nalézt v příloze této práce – jedná se o výkresy č. 004, 005 a 008 (viz Tab. 1).*

Specifikace místnosti 106 - Kuchyň



Obr. 9 – Okruhy rozvaděče pro místnost 106.



Obr. 10 – Zásuvky a vývody v místnosti 106.

Specifikace zapojení okruhů dle Obr. 9

Proudový chránič FI1 3P 25/003 A zajišťuje doplňkovou ochranu pro zásuvkové okruhy v několika místnostech, včetně zásuvek obecných, myčky a trouby v kuchyni. Součet jmenovitých proudů okruhů na jednu fázi chrániče činí 32 A, jeho předjištění je zajištěno hlavním jističem FA001 3x25 A.

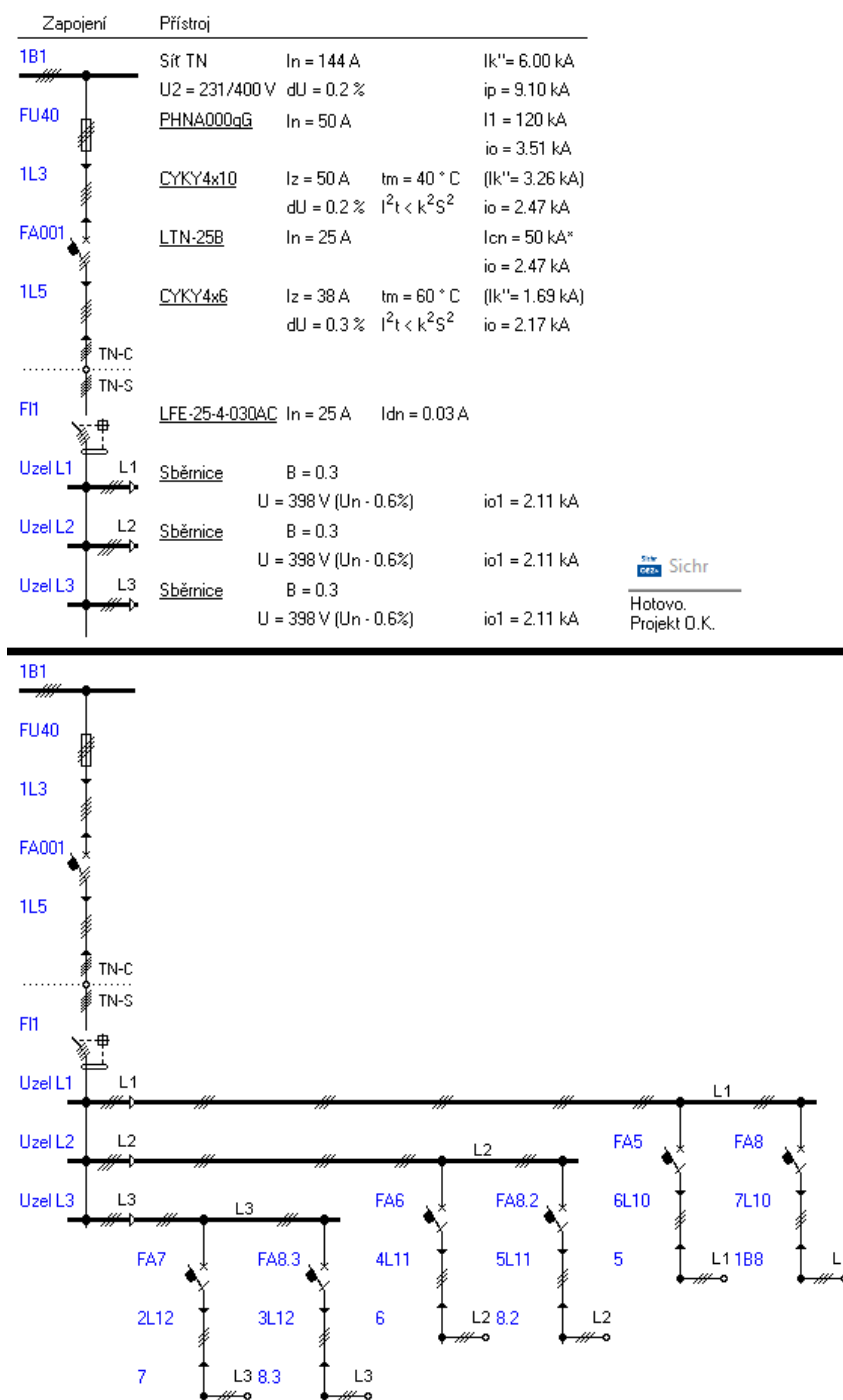
Proudový chránič s nadproudovou ochranou FA8.1 1P B16/003 A jistí a zároveň zajišťuje doplňkovou ochranu zásuvkového okruhu 8.1 pro lednici. Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, bude se jednat o samostatný okruh, čímž snížíme pravděpodobnost vybavení jističího prvku na minimum a zabráníme tak vzniku hmotné škody. Modul FA8.1 bude vhodné v rozvaděči umístit samostatně (pokud to jeho uspořádání umožní).

Proudový chránič FI2 3P 25/003 A zajišťuje doplňkovou ochranu pro vývod indukčního sporáku. Zvolený jistič je C16/3 s předpokládaným jmenovitým příkonem 6 kW, vývod však umožňuje připojení až 10kW symetrického trojfázového spotřebiče. Při volbě sporáku s příkonem nad 10 kW bude zapotřebí zvýšit průřez CYKY-J z 5x2,5 mm² na 5x4 mm² a jistič na C20/3. V takovémto případě lze předpokládat, že sporák bude zároveň plnit funkci trouby, okruh 8.3 pak lze použít k jiným účelům – například pro připojení kávovaru či jiného spotřebiče s příkonem nad 2000 W. Předjištění proudového chrániče je opět realizováno hlavním jističem FA001 3x25 A.

Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o dokumentaci k získání stavebního povolení (DSP), jsou všechny navrhované okruhy předběžné. Umístění vývodů a zásuvek jsem volil dle vlastního uvážení, v kuchyni jsem se řídil zakresleným vybavením. Ze strany investora však nebyla na navrhované okruhy a rozmístění zásuvek žádná zpětná vazba, té se projektant nejčastěji dočká až při přechodu dokumentace na stupeň provedení stavby (DPS). Obdobně lze zakreslené kabelové trasy považovat za předběžné, případně spíše ilustrační – k jejich upřesnění opět dojde až ve stupni provedení stavby.

Model hlavního přívodu a okruhu FI1 v programu SICHR

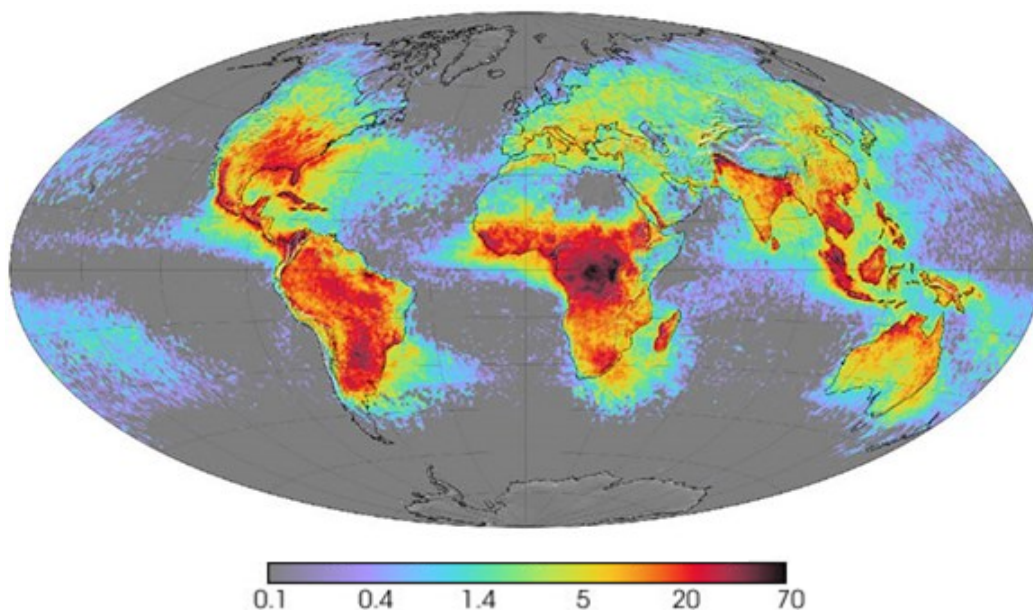
Správné dimenzování a selektivitu jištění si lze ověřit ve volně dostupném programu SICHR od společnosti OEZ. Software umožňuje paprskovitě namodelovat celou síť včetně jejích prvků a výpočtem ověřit správnost návrhu. Mimo jiné ověřuje impedanci poruchové smyčky, úbytek napětí, oteplení vodičů, správnost jištění a mnoho dalších parametrů. Na Obr. 11 lze vidět model přívodního vedení (do bloku rozdělení TN-C na TN-S) a následovně namodelovaný zásuvkový okruh s doplňkovou ochranou FI1 (viz výkres 008 v příloze).



Obr. 11 – Model sítě v programu SICHR.

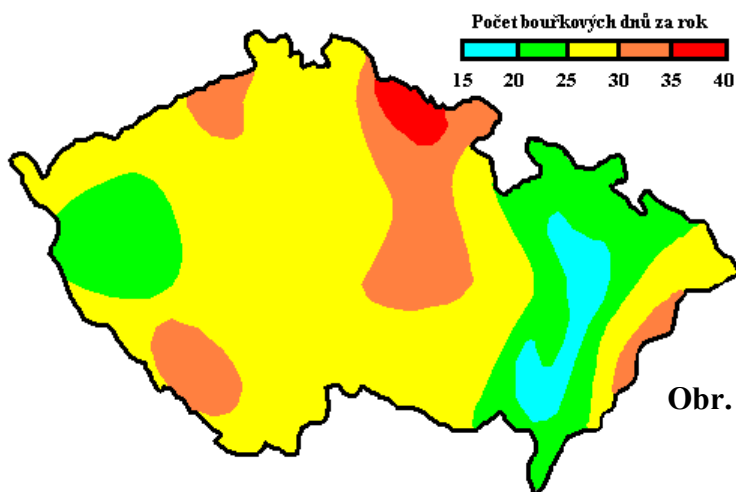
2.2 Ochrana před úderem blesku

Pro návrh systému ochrany před bleskem je výchozí soubor norem ČSN EN 62305. Systém slouží k ochraně objektů a osob před elektrickými, tepelnými a mechanickými účinky blesku. Blesk je ve své podstatě elektrický výboj mezi elektricky nabitým mrakem a zemí, mezi dvěma nabitými mraky nebo mezi různě nabitými částmi jednoho mraku. Úder blesku je doprovázen vznikem atmosférického přepětí [LEMP] s výraznými destruktivními účinky na elektrická zařízení. Výbojů mezi mrakem a zemí je z celku menšina, jejich četnost je udávána statistickou veličinou – intenzitou bouřkové činnosti = četnost úderů blesku na km^2 za rok. V ČR se hodnota této veličiny pohybuje mezi 2 a 8 údery za rok, což je ve srovnání s desítkami či stovkou úderů v tropických oblastech relativně nízká hodnota. I přesto však nelze destruktivní účinky blesku zanedbat. Každou sekundu dochází ve světě k přibližně 45 úderům blesku, čemuž odpovídá 1,4 miliard úderů za rok [4].



Obr. 12 – Celosvětová mapa úderů blesků na km^2 za rok [4].

Temně rudá barva představuje oblasti s nejčetnějšími údery blesku. Je patrné, že se Česká republika nachází v oblasti s relativně mírnými atmosférickými podmínkami.



Obr. 13 – Izokeraunická mapa ČR [4].

Určování rizik

Riziko je kombinací pravděpodobnosti vzniku neobvyklé události a její závažnosti. V rámci návrhu ochrany před úderem blesku výpočet rizik, daný vyhláškou dle ČSN EN 62305-2 ed. 2, slouží k určení toho, zdali jsou použita opatření proti blesku dostačující. Riziko je poměrnou hodnotou určující pravděpodobné průměrné roční ztráty. Pro každý typ možných ztrát stavby musí být určeno odpovídající riziko. Cílem výpočtů rizika je jeho následná minimalizace nebo úplné odstranění [5].

Výpočet rizika se dělí do několika dílčích částí:

- Riziko ztrát na lidských životech.
- Riziko ztrát na veřejných službách.
- Riziko ztrát na kulturním dědictví.
- Riziko ztrát ekonomických hodnot.

Jednotlivá rizika jsou dána sumou jejich dílčích částí, které jsou detailně popsány ve výše uvedené normě. Skutečné riziko musí být menší než přípustné riziko. Je vhodné zmínit, že při výpočtu rizika počítáme se statistickými veličinami, založenými mimo jiné na pravděpodobnostech a historických výskytech – jedná se tedy o přesný výpočet s nepřesnými čísly. Mezi základní vstupní parametry výpočtu spadá například četnost nebezpečných událostí, velikost sběrných ploch, poloha, okolní objekty či inženýrské sítě (telekomunikační, silnoproudé, vodovodní či plynové) a další [5].

Konkrétním výpočtem rizik se tato práce zabývat nebude, jelikož se jedná o typický rodinný dům, jehož zařazení z rizikového hlediska lze provést typově.

2.2.1 Systém ochrany před bleskem

Systém ochrany před bleskem (LPS) slouží k minimalizaci škod způsobených při úderu blesku do chráněného objektu. Skládá se z vnitřní a vnější ochrany. Provedení LPS je členěno do čtyř tříd – I, II, III, IV. Volba třídy systému je jedním ze vstupních parametrů při výpočtu rizika, související s rizikem úrazu živých bytostí a rizikem hmotné škody na objektu.

Pro určení třídy LPS musíme chráněný objekt zařadit do vhodné **hladiny ochrany před bleskem (LPL)**, které jsou členěny dle předpokládané velikosti bleskového proudu. Hladiny jsou členěny do tříd LPL I, II, III, IV s danými vrcholovými bleskovými proudy 200, 150, 100 a 100 kA. Hladině LPL odpovídá LPS ve stejné třídě [5].

Jelikož nejsou LPL a LPS výstupními veličinami, musíme je vhodně zvolit. V praxi se třída LPS (respektive LPL) volí dle neoficiálních tabulek, do kterých jsou objekty roztrženy dle typu a užití. Zvolíme tedy vhodnou třídu LPS a výpočtem rizik ověříme, zda navržená ochrana objektu splňuje normativní požadavky. Takovéto neoficiální členění lze v praxi použít, protože výpočty obdobných objektů jsou velmi podobné. Pokud nám však výpočet rizik nevyjde, pak musíme zvolit vyšší třídu LPL (respektive LPS) a výpočet opětovně provést.

Tab. 2 – Objekty a jejich odpovídající třídy LPS [5].

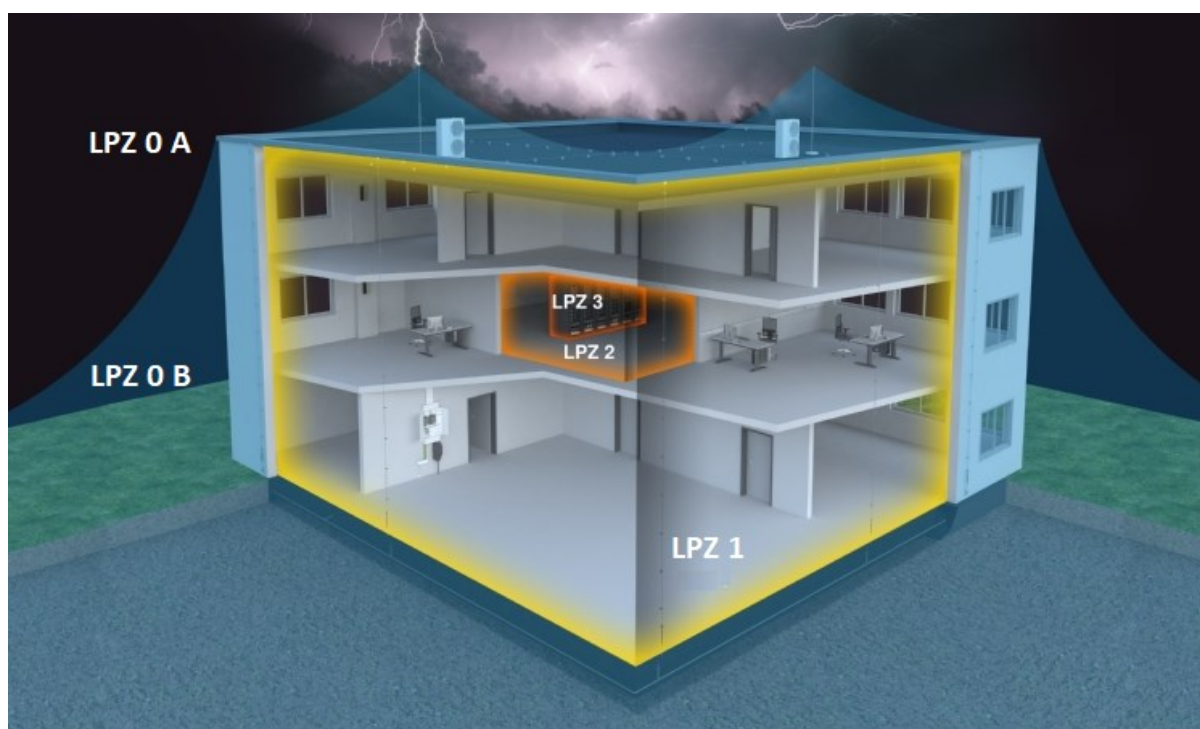
LPS I	Technologicky a operačně náročné budovy – nemocnice, banky, plynárny, elektrárny, budovy s prostředím nebezpečným výbuchu, chemické a automobilové závody, stanice slaboproudých rozvodů...
LPS II	Školy, muzea, supermarkety, nadstandardně vybavené objekty z LPS III...
LPS III	Rodinné domy, obytné budovy, administrativní budovy, zemědělské objekty...
LPS IV	Sklady, haly, objekty bez výskytu osob a vnitřního vybavení vyžadujícího ochranu před úderem blesku...

Dalším členěním objektu jsou **zóny ochrany před bleskem (LPZ)**, které jsou definovány z hlediska odolnosti prostoru vůči LEMP (respektive jako prostory s různou intenzitou LEMP).

Tab. 3 – *Přiřazení prostorů příslušným zónám LPZ [5].*

LPZ 0 A LPZ 0 B	Nechráněný venkovní prostor. Možnost přímého úderu blesku. Bez stínění LEMP. Prostor chráněný vnější LPS proti přímému úderu blesku. Bez stínění LEMP.
LPZ 1	Zahrnuje vnitřní prostor za vnějšími zdmi a pod střechou, neumožňuje přímý úder blesku. Účinek LEMP v této oblasti je tlumený – účinnost tlumení závisí na materiálu stěn, kvalitě vnější LPS a případně použití SPD.
LPZ 2	Zahrnuje vnitřní místnosti objektu, neumožňuje přímý úder blesku. Další útlum LEMP závisí na materiálu a stínění stěn a použití SPD.
LPZ 3	Zahrnuje vnitřní prostory kovových skříní, zařízení, rozvaděčů a dobře stíněných místností. Vyznačuje se vysokou odolností vůči LEMP.

Hranice mezi LPZ jsou vymezovány ochrannými opatřeními – například vnější LPS (hromosvod), vnitřní LPS (SPD), ekvipotenciálním pospojováním či stínícím krytím.



Obr. 14 – *Ilustrace členění prostorů do zón LPZ [5].*

2.2.2 Vnější systém ochrany před bleskem

Vnější LPS zajišťuje zachycení blesku při přímém úderu do objektu, svedení bleskového proudu do uzemňovací soustavy a jeho následné rozptýlení. Jeho úkolem je ochrana objektů před tepelnými a mechanickými účinky blesku. Skládá se z jímací soustavy, soustavy svodů a uzemňovací soustavy. Musí být všude tam, kde by mohl úder blesku způsobit ohrožení života, rozsáhlé poruchy, výbuch či značnou hmotnou škodu. Lidově je vnější LPS známý jako hromosvod.

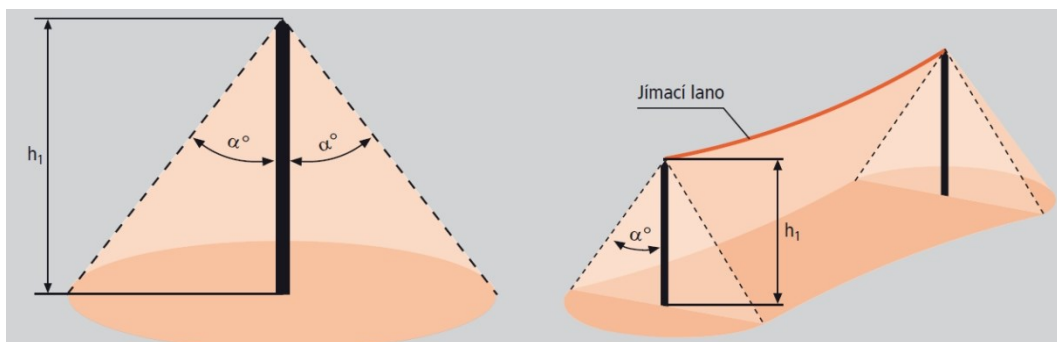
Rozlišujeme 2 základní typy vnější ochrany LPS – oddálena (izolovaná) a neoddálená (neizolovaná). Základem izolovaného hromosvodu je dodržení izolačních vzdáleností – hromosvod je od stavby řádně izolován a objektem tak při úderu blesku nepotečou žádné bleskové proudy – zde patří například stožárový, klecový nebo závěsový hromosvod. Pod neizolované hromosvody spadá mřížová či hřebenová soustava. V praxi je izolované provedení preferované, avšak u velkých budov téměř nemožné a velmi nákladné. Typickým příkladem neoddáleného provedení je jímací vedení podél střešního hřebenu, umístěné v jeho bezprostřední blízkosti, případně na něm přímo ležící – v takovém případě však provedení musí splňovat normativní požadavky. Při použití hořlavých povrchů musí být dle tabulek materiálů zvolena vhodná izolační vzdálenost (minimálně vždy však 10 cm) [5].

Jímací soustava

Jímací soustava se skládá z jímacích tyčí a jímacího vedení na střeše objektu. Jímací tyče a vedení vytvářejí ochranné pásmo, ve kterém je soustava schopna zachytit úder blesku. Jímací vedení je typicky realizováno pozinkovaným drátem o průměru 8, 9 nebo 10 mm (dle předpokládané velikosti bleskového proudu). Vedení se nejčastěji nachází na izolačních podpěrách s pevně danými maximálními vzájemnými vzdálenostmi. Ochranné pásmo jímací tyče a jímacího vedení je definováno ochranným úhlem a závisí na třídě LPS – čím vyšší třída LPS objektu, tím je ochranné pásmo užší. Střešní objekty (například komíny a klimatizace) většinou vyžadují vlastní jímač, jelikož v důsledku své výšky nespádají pod ochranný úhel obecně rozmístěných jímačů a mřížové soustavy. Jímače však musí zároveň dodržovat předepsanou izolační vzdálenost od objektů, které svým ochranným úhlem stíní [5].

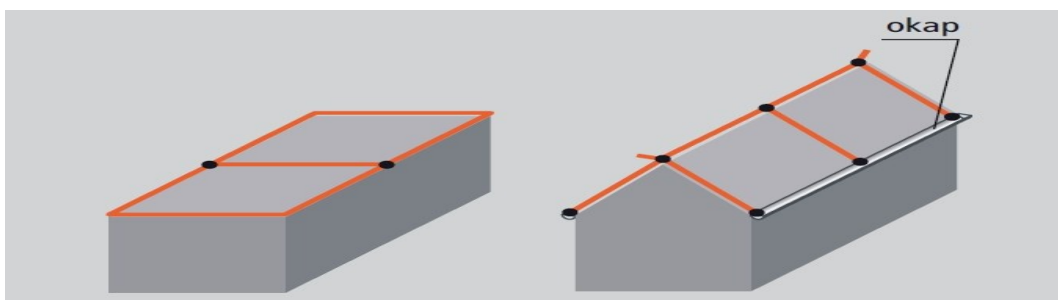
Metody používané při návrhu jímací soustavy:

a) **Metoda ochranného úhlu** je vhodná pro jednoduché tvary budov. Ochranné prostory tyčových jímačů musí pokrývat celý chráněný objekt. Ochranný úhel jímací tyče je závislý na jeho výšce a použité třídě LPS – vyšší třída LPS a větší délka tyče snižují ochranný úhel (viz Obr. 18).



Obr. 15 – Ochranný úhel jímací soustavy (kužel a stan) [6].

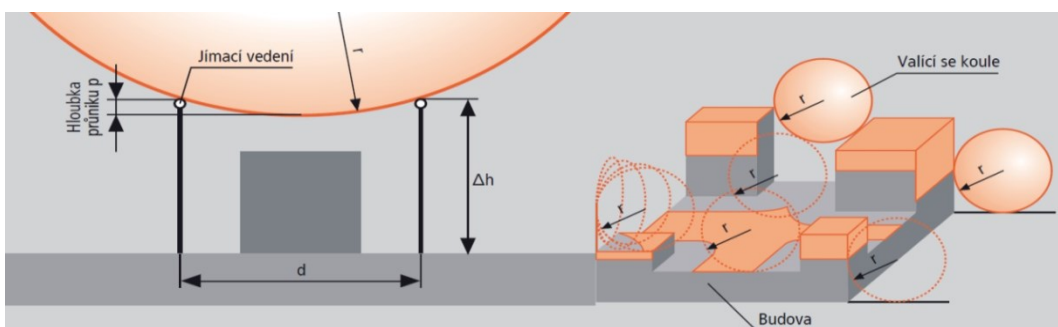
b) Metoda mřížové soustavy se používá u plochých střech. Jímací vedení je umístěno po okrajích střechy (případně na atice) a dle třídy LPS jsou na střešní ploše vytvořena mřížová oka = propojení jímacího vedení přes plochu střechy (příslušné rozměry ok lze vyčíst z Tab. 4)



Obr. 16 – Mřížová jímací soustava [6].

Je zřejmé, že obdobně jako u svodu, lze vhodné kovové části nacházející se na plášti objektu použít jako součást mřížové soustavy – například okap nebo atikový plech.

c) Metoda valivé koule je v praxi nejpoužívanější a nejuniverzálnější metodou. Úspěšnost návrhu jímací soustavy je určena místy styku valící koule s jímací soustavou (při nesprávném návrhu stykem s objektem). Projektant navrhne jímací soustavu a provede simulaci valící se koule – lze si představit kouli o poloměru daném dle třídy LPS, kutálející se po zemi směrem k chráněnému objektu. Koule se musí ze všech směrů „překutálet“ přes jímací soustavu objektu, aniž by se kdekoli samotného objektu dotkla. Poloměr valivé koule dle třídy LPS lze vyčíst z Tab. 4.



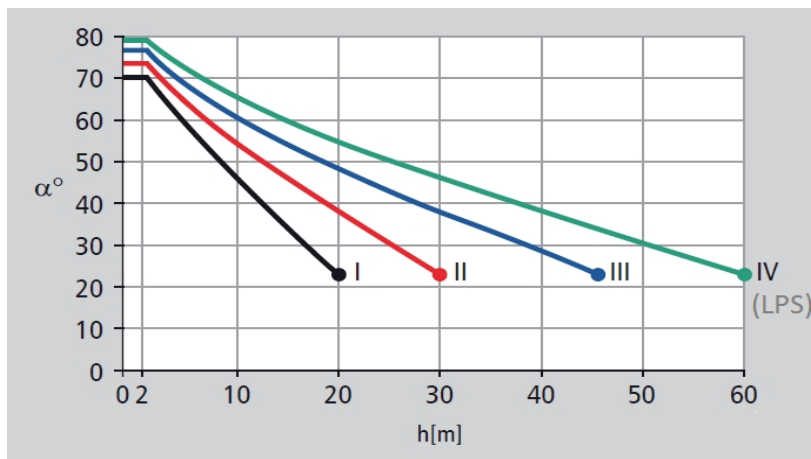
Obr. 17 – Návrh jímací soustavy metodou valící se koule [7].

Plochy vyznačené oranžově na Obr. 17 jsou kritickými místy, kde dochází ke styku valivé koule s chráněným objektem. Tyto plochy musí být před koulí skryty pomocí vhodně umístěných prvků jímací soustavy. V praxi se využívá kombinace všech tří metod návrhu jímací soustavy – realizujeme mřížovou soustavu, doplníme ji jímači a „otestujeme“ valící se koulí.

Tab. 4 – Rozměr valící se koule a mřížové soustavy dle třídy LPS [5].

Třída LPS	Poloměr valící se koule	Oka mřížové soustavy
I	20 m	5x5 m
II	30 m	10x10 m
III	45 m	15x15 m
IV	60 m	20x20 m

Z Tab. 4 je patrné, že nejmenší nároky na jímací soustavu klade třída IV – velký poloměr valící se koule znamená menší nároky na rozmístění jímačů, jelikož při svém valení se přes objekt není ve své kontaktní části obvod koule příliš zakulacený – dává tak prostor pro větší vzdálenosti mezi jímači (dochází k tzv. menšímu průniku/průhybu koule). Naopak třída LPS I vyžaduje značné nároky na jímací strukturu – tyto požadavky lze splnit různými úpravami v rozmístění a skladbě jímací soustavy – zvýšením počtu jímačů, změnou jejich rozmístění, délkou či dokonce lze jímací tyče napřímo spojit jímacím vedením, díky čemuž vznikne dráha (koleje), po které se koule může převalit (viz jímací lano na Obr. 15). Do rohů objektů se také většinou umísťují pomocné jímací tyče směřující pod úhlem 45° do vnějšího prostoru [5].



Obr. 18 – Ochranný úhel jímací tyče v závislosti na její výšce a třídě LPS [6].

Z Obr. 18 lze vyčíst, že ochranný úhel jímací tyče klesá s její výškou. Je také zjevné, že na strmost poklesu ochranného úhlu v závislosti na výšce jímače má značný vliv také zvolená třída LPS. Například jímací tyč třídy IV má ve výšce 60 m stejný ochranný úhel, jako tyč třídy I ve výšce 20 m.

Tab. 5 – Ochranný úhel jímací tyče pro uvedené třídy LPS do výšky 2 m [6].

Třída LPS	Ochranný úhel α do výšky 2 m
I	70°
II	72°
III	76°
IV	79°

Při návrhu a realizaci soustavy musí být vždy dodrženy bezpečné izolační vzdálenosti mezi prvky jímací soustavy a okolím. Pokud by například mělo jímací vedení tvořící oko mřížové soustavy překřížit střešní kabelový vývod, pak musí dojít k jeho přemostění – jímací vedení se musí nadzvednout nebo zkrivit. Stejně tak je zapotřebí dbát na bezpečné vzdálenosti při umísťování jímacích tyčí v blízkosti objektů, které mají stínit. Takovýto výpočet izolačních vzdáleností si ukážeme v dalších kapitolách při realizaci návrhu LPS. Dodržení bezpečných vzdáleností je absolutní prioritou, jinak by v případě úderu blesku mohlo dojít k jeho přeskočení na blízký objekt a následnému vzniku škody na majetku či zdraví osob.

Náhodné prvky jímací soustavy zahrnují okapy, atiky, žebříky, schodiště, zábradlí a vodivé pláště objektu. Při splnění materiálových a rozměrových požadavků je lze zakomponovat do jímací soustavy.

Svodová soustava

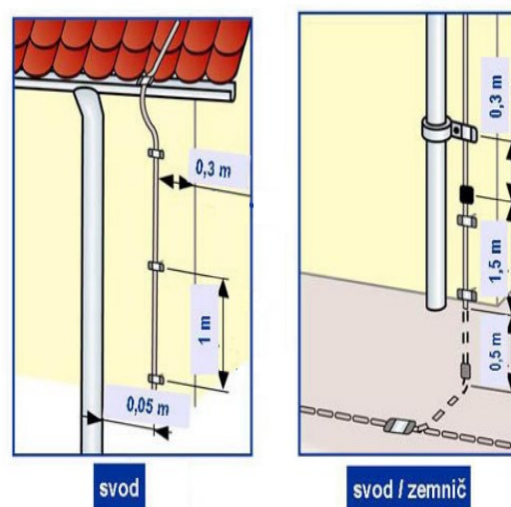
Svodová soustava zajišťuje vodivé spojení jímací a uzemňovací soustavy. Jejím účelem je svedení bleskového proudu co nejkratší cestou a zamezení případných přeskoků na strukturu chráněného objektu. Svody mohou být vnější (na fasádě), skryté (uvnitř fasády) nebo vnitřní (ve vnitřních pilířích velkých objektů). Jako součást svodové soustavy lze také použít kovových konstrukcí na objektu – například kovových schodišť a žebříků. Při použití skrytých a vnitřních svodů je potřeba brát v potaz teplotní roztažnost vedení a silové účinky blesku – například skrytý svod o průměru 8 mm musí být fasádou veden netřištivou trubkou o průměru 32 mm. Při použití trubky menšího průměru by mohlo úderem blesku dojít k vytrhnutí svodu z fasády, což je nežádoucí a nebezpečný jev. Při použití bezpečných poměrů průměrů dojde při úderu blesku k zvlnění vedení uvnitř trubky bez mechanického poškození objektu [5].

Tab. 6 – Maximální vzájemná obvodová vzdálenost svodů [7].

Třída LPS	Maximální vzájemná obvodová vzdálenost svodů
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Z Tab. 6 vyplývá, že počet svodů je určen třídou LPS a střešní obvodovou délkou chráněného objektu. Vzdálenosti v tabulce představují maximální dovolené hodnoty, počet svodů tedy získáme vydělením výpočtové obvodové délky hodnotou příslušnou dle Tab. 6 a zaokrouhlením na nejbližší vyšší celé číslo. Opětovným vydělením obvodové délky vypočteným počtem svodů získáme jejich skutečnou vzájemnou vzdálenost. Opět platí, že je třída I nejnáročnější a vyžaduje tedy největší počet svodů. Jejich obvodové rozmístění musí být rovnoměrné a musí být vedeny co nejkratší vzdáleností mezi jímací soustavou a zemí pro zajištění rovnoměrného paralelního rozložení bleskového proudu. Izolační vzdálenosti svodové a jímací soustavy vyplývají z náročnosti třídy LPS a materiálu a délce svodu a jímacího vedení.

Zkušební svorka je pro měřicí účely součástí každého svodu, v doporučené vzdálenosti nad zemí 1,5 m. Slouží pro měření odporu svodu a uzemnění (od svorky dolů) a k detekci poruch svodového a jímacího vedení (od svorky nahoru). Maximální dovolený odpor jednoho zemniče (od svorky dolů) je 10Ω [3]. Měření kvality uzemnění je úlohou revizní technika, naměřené hodnoty jsou však v průběhu roku proměnlivé – nižší hodnotu zemního odporu naměří revizní technik v případě, kdy je půda vlhká. Provozovatelé obávající se nevyhovění mezních hodnot zemního odporu tak mnohdy nechávají měření provádět v zimních měsících či čerstvě po dešti, kdy je relativní vlhkost půdy nejvyšší, což je však nevhodné.



Obr. 19 – Způsob instalace svodů [5].

Uzemňovací soustava

Uzemňovací soustava zprostředkovává přechod a rozptýlení bleskového proudu do země a zajišťuje ochranu před dotykovým a krokovým napětím. Skládá se ze zemničů, zemního vedení a uzemňovacích přívodů. Uzemňovací soustava bývá u novostaveb uložena v jejich betonových základech – u rodinných domů v obvodových základech stavby a v případě velkoplošných objektů je tvořena mřížovou soustavou v ploše jejich základů. U stávajících objektů se nové uzemňovací soustavy ukládají v zemi ve vzdálenosti 1 m po obvodu objektu. Požadavky na uzemnění vyplývají z normy ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 [7].

Základní typy zemničů

- a) **Zemnič typu A** je vodorovný nebo svislý zemnič instalovaný vně chráněný objekt, spojený se všemi svody. Minimálně 80 % jeho délky je v půdě, minimální počet zemničů je 2.
- b) **Zemnič typu B** je obvodový (1 m od stavby) nebo základový (případně základový mřížový) zemnič. Používá se v kombinaci se zemničem typu A [7].

Provedení zemničů

- a) **Náhodné:** ocelové konstrukce, koleje.
- b) **Strojené:** základové, drátové, pásové, tyčové, trubkové.

Lepších vlastností uzemňovací soustavy dosáhneme při použití základového zemniče. Tímto způsobem oproti prostému uložení v zemině snížíme zemnicí odpor, protože vlhký beton je velmi dobrým vodičem a zároveň skrze něj zvýšíme obsah stykové plochy zemniče. V neposlední řadě také zvýšíme jeho životnost, protože je před vnějšími vlivy betonem chráněn. Při použití obvodového zemniče musíme dodržet jednometrový odstup od budovy a hloubku alespoň 50 cm, ideálně však 80 až 100 cm. Ve větších hloubkách je během roku průměrně vyšší procento vlhkosti, které je zároveň méně náchylné na atmosférické výkyvy (déšť, sucho...).

Příklad materiálového provedení soustavy jímací, svodové a uzemňovací

Typovým představitelem zemniče je ploché provedení FeZn 30x4 mm. Spoje mezi zemnicím páskem a zkušební svorkou realizujeme vodičem kruhového průřezu FeZn o průměru 10 mm. Přechod vodiče mezi betonem a zeminou je ošetřen buďto nátěrem nebo tepelně smršťovací bužírkou pro prevenci chemické degradace. Zkušební svorka je litinového provedení. Tělo svodu nad zkušební svorkou a jímací vedení střechy zvolíme v kruhovém provedení AlMgSi o průměru 8 mm. Střešní spoje jímacího vedení realizujeme křížovou svorkou FeZn. Jímací vedení uložíme na podpěry PV21. Jinými používanými materiály LPS jsou například hliník, nerez a měď.

Tab. 7 – Doporučené materiálové kombinace pro konstrukci vnější LPS [8].

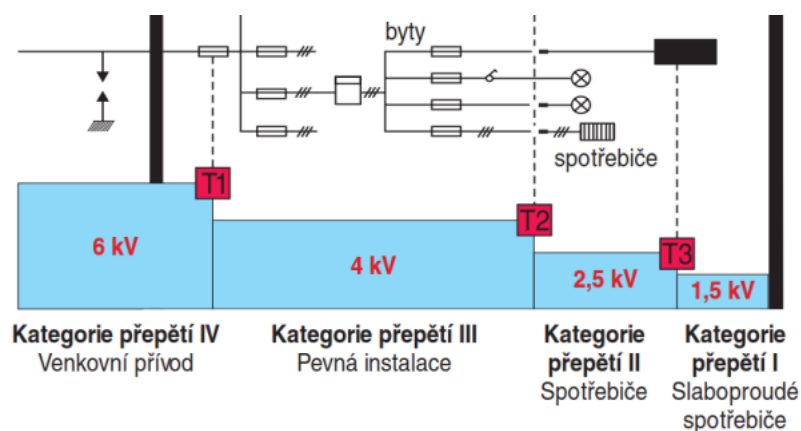
MATERIÁL	Pozinkovaná ocel	Měď	Hliník	Nerezová ocel
Pozinkovaná ocel	ANO	NE	ANO	ANO
Měď	NE	ANO	NE	ANO
Hliník	ANO	NE	ANO	ANO
Nerezová ocel	ANO	ANO	ANO	ANO

2.2.3 Vnitřní systém ochrany před bleskem

Vnitřní LPS zabráňuje vzniku nebezpečných přepětí ohrožujících osoby, rozvodné soustavy a přístroje uvnitř objektu. Základem vnitřní ochrany je použití přepět'ové ochrany, dodržení izolačních vzdáleností a vytvoření ekvipotenciálního systému propojením všech neživých vodivých částí objektu. V objektech se nesmí nacházet neuzemněné, vodivé části, na kterých by v případě poruchy či atmosférických jevů mohlo vznikat nebezpečné dotykové napětí či jiskření.

Ochrana proti přepětí

Ochrana proti přepětí (SPD) je přístroj omezující vzniklé přepětí na takovou hodnotu, která nepřekračuje izolační hladinu chráněného zařízení či systému. Nesprávná volba přepět'ové ochrany u domovních rozvodů může při přepět'ových jevech způsobit škody za desítky či stovky tisíc korun, u průmyslových objektů až za miliony korun. Nejčastější případy přepětí jsou impulzní **přepětí atmosférická** (LEMP) a impulzní **přepětí spínací** (SEMP). Přepětí atmosférická mohou dosáhnout až stovek tisíců voltů, nejsou však tak časté. Mnohem častější (zejména v průmyslových instalacích) jsou vnitřní přepětí spínací vyvolaná stroji a přístroji zapojenými v rozvodné soustavě. Tato přepětí sice nedosahují hodnot LEMP, nicméně jejich četnost a doba působení bývají vyšší – v průběhu času tak degradují izolační stav soustavy, až dojde k poruchovému stavu [7]. Požadavky na přepět'ovou ochranu vyplývají z analýzy rizika a odpovídají ČSN EN 62305-4 ed. 2. Dle této normy rozlišujeme 4 kategorie domovního přepětí, členící úseky dle odolnosti vůči impulznímu přepětí:



Obr. 20 – Klasifikace úseků domovních rozvodů dle odolnosti vůči přepětí [9].

Tab. 8 – Klasifikace přepětí pro domovní rozvody [9].

Kategorie (-)	Max. přepětí (kV)	Část elektroinstalace (-)
I	1,5	Slaboproudé spotřebiče
II	2,5	Silnoproudé spotřebiče
III	4	Pevná elektroinstalace
IV	6	Venkovní přívod

Typy přepět'ových ochran

SPD T₁ = hrubá ochrana

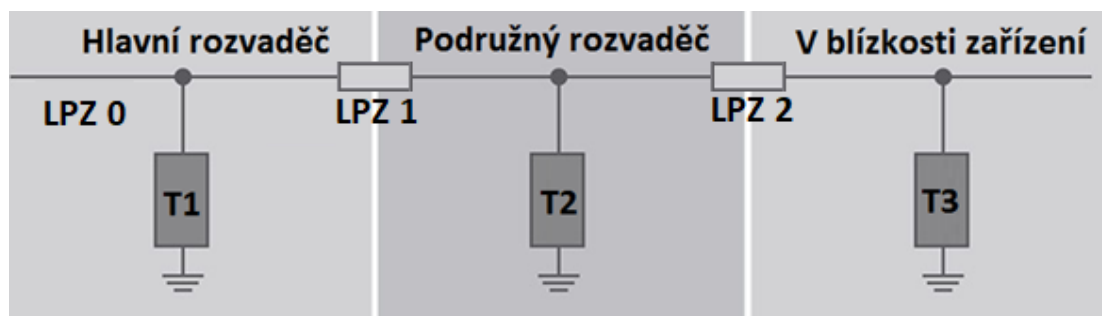
- První stupeň ochrany – instalován na hranici kategorie IV a III (6 kV → 4 kV) – například hned za hlavním vypínačem, jakožto první prvek v hlavním rozvaděči.
- Realizace jiskřištěm - princip spočívá v přesáhnutí elektrické pevnosti a průrazu dielektrika.
- Vysoká svodová schopnost – až 50 kA – při tvaru přepět'ové vlny 10/350 μs [9].
- Chrání objekt před vnějším přepětím:
 - Úder blesku do jímací soustavy, vedení nebo blízkého okolí chráněného objektu.
 - Spínací a přechodné pochody v distribuční soustavě a přepětí mezi sousedními objekty.

SPD T₂ = střední ochrana

- Druhý stupeň ochrany – instalován na hranici kategorie III a II (4 kV → 2,5 kV) – například na přívodu do podružného rozvaděče.
- Realizace varistorem (nelineární polovodičový prvek, jehož odpor s rostoucím napětím klesá).
- Svádí přepětí s tvarem vlny 8/20 μs (doba čela / doba půltýlu).
- Chrání vnitřní spotřebiče objektu snížením hladiny přepětí na přijatelnou úroveň.
- Pokud je vzdálenost mezi T₂ a spotřebičem menší, než 5 m, pak může T₂ splňovat funkci T₃ [9].

SPD T₃ = jemná ochrana

- Třetí stupeň ochrany – instalován na hranici kategorie II a I (2,5 kV → 1,5 kV) – umísťuje se přímo v zásuvkových okruzích u spotřebiče v maximální vodivé vzdálenosti 5 m.
- Realizace varistorem a supresorovými (rychlými Zenerovými) diodami.
- Nejcitlivější ochrana, omezuje přepětí na nejnižší hodnoty, svodová schopnost až 10 kA.
- Použití v okruzích s citlivou a drahou výpočetní technikou, u zásuvek a prodlužovacích přívodů, často v kombinaci s vysokofrekvenčním filtrem [9].



Obr. 21 – Ilustrace umístění SPD v rozvodné síti.

Stupeň ochrany T₁ a T₂ lze také realizovat v rámci jednoho přístroje hned za přívodem v hlavním domovním rozvaděči, a to způsoby [7]:

- Paralelní zapojení jiskřiště (T₁) a varistoru (T₂).
 - Svodová schopnost až 25 kA na jeden pól.
- Varistorové provedení T₁ a T₂.
 - Svodová schopnost až 12,5 kA na jeden pól.
 - Levnější.

Vybavovací rychlost přepět'ové ochrany je jedním z důležitých parametrů SPD – ochrana nereaguje okamžitě, ale se zpožděním. Čím je vybavení ochrany pomalejší, tím delší době a vyšší hodnotě napětí je zařízení vystaveno. Impulzní přepětí zpravidla dosahují svých špičkových hodnot řádově v mikrosekundách – přepět'ové ochrany tedy musí reagovat řádově v nanosekundách, aby zabránily impulzu napětí v dosáhnutí jeho amplitudy [7].

Ekvipotenciální pospojování

Ekvipotenciální pospojování (EP) je zásadním ochranným opatřením před úrazem elektrickým proudem. Touto problematikou se zabývá norma **ČSN 33 2000-4-41 ed. 2** (platná do roku 2020) a její nová (přísnější) edice **ČSN 33 2000-4-41 ed. 3**. Tato norma stanovuje požadavky na ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem v instalacích do úrovně sdruženého napětí 1000 V. Požadavky předchozí normy jsou mimo jiné doplněny normou **ČSN 33 2000-5-54 ed. 3**, která se zabývá provedením uzemnění a hlavního pospojování, problematikou automatického odpojení od zdroje a ochranou před elektromagnetickým rušením a bleskem.

Princip EP spočívá ve vyrovnání potenciálů propojených prvků jejich vzájemným vodivým propojením. Do tohoto zapojení se musí připojit kovové konstrukce a instalace, vnější vodivé kryty a všechny elektrické systémy. Hlavní uzel ekvipotenciálního pospojování bývá nejčastěji na úrovni terénu v místě vstupů energií do objektu – jedná se o tzv. svorkovnici **hlavního ochranného pospojování (HOP)**. K této svorkovnici jsou připojeny plynovody, vodovody, odpadní potrubí, topenářská potrubí, zemniče, vodiče PEN, klimatizace a různé kovové armatury. Hlavní funkcí EP v síti 230/400 V je zajištění automatického odpojení od zdroje (minimalizace impedance poruchové smyčky a odpojení v požadovaném čase) a eliminace nebezpečného dotykového napětí U_d (V) [5].

Tab. 9 – Mezní hodnoty dotykových napětí dle typu prostředí [5].

Prostředí	Mez nebezpečného dotykového střídavého napětí	
	Přechodné	Trvalé
Normální	50 V	25 V
Nebezpečné	50 V	25 V
Zvlášť nebezpečné	12 V	0 V

V případě, kdy vypočtené dotykové napětí překračuje mezní hodnotu, je v dané oblasti zapotřebí provést **doplňkové ochranného pospojování (DOP)**, ke kterému se připojí ochranné vodiče a kryty všech dostupných zařízení. V případě prostředí zvlášť nebezpečného musí být DOP provedeno vždy. Toto doplňkové pospojování je typické u rozlehlých (průmyslových objektů), vícepatrových domů (pospojování v jednotlivých patrech), ale může se také nacházet u rodinného domu – například v oddělené garáži. Typicky se provádí v bezprostřední blízkosti rozvaděčů podružných. Provedením DOP se dotykové napětí sníží o hodnotu, která by vznikla na úseku délky ochranného vodiče, vedoucího mezi HOP a nově provedeným DOP – nově dotykové napětí vznikne jen na úseku ochranného vodiče mezi místem dotyku a svorkovnicí DOP.

Je patrné, že přírůstek dotykového napětí je úměrný přírůstku impedance:

$$\Delta U_d \sim \Delta Z$$

Z čehož lze vyvodit:

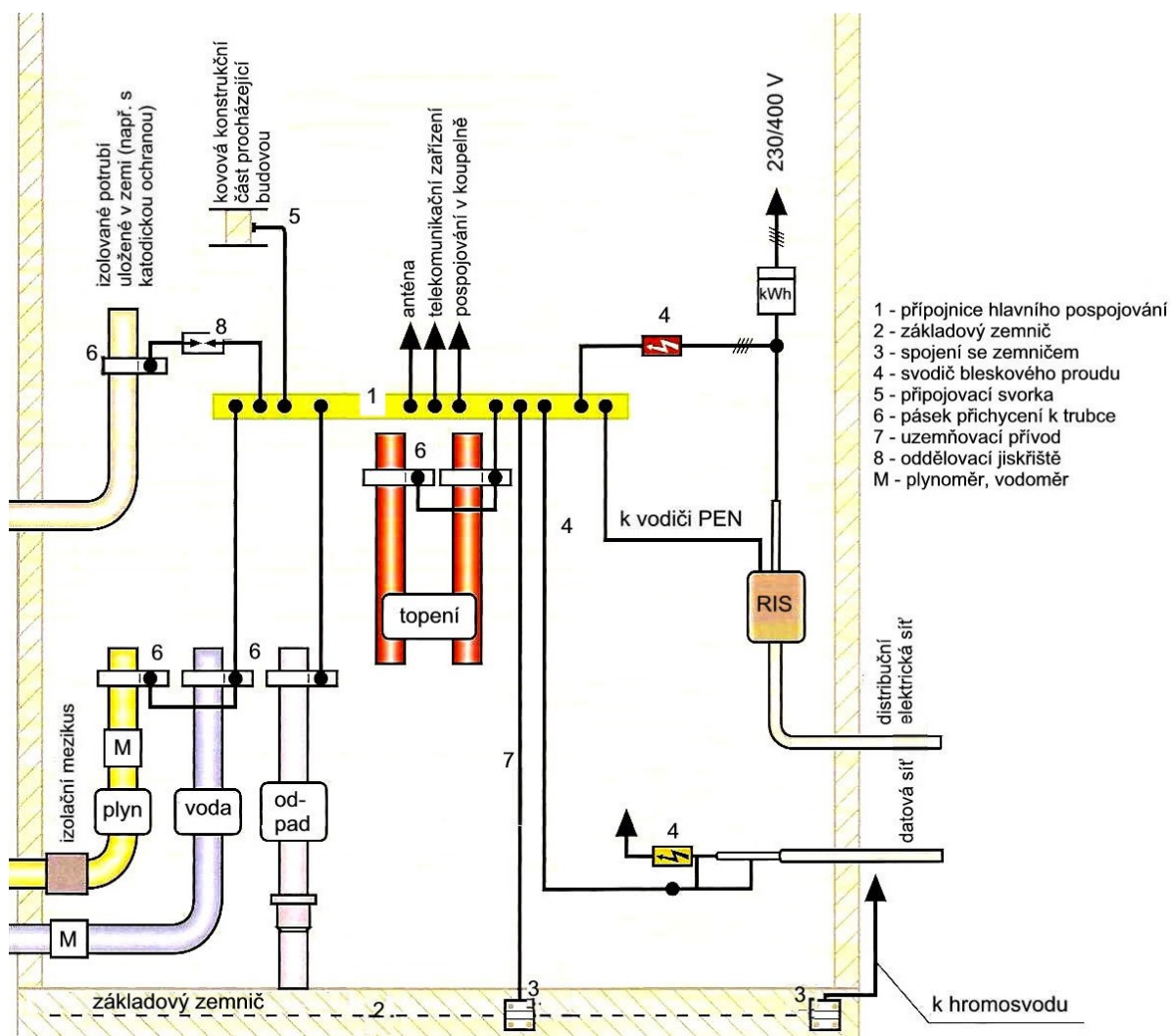
$$\frac{U_d}{U_0} = \frac{Z_{PE}}{Z_S}$$

Vyplývající požadavek:

$$Z_{PE} \leq \frac{U_d}{U_0} \cdot Z_S \quad (2.1)$$

Z_{PE} (Ω) = Impedance ochranného vodiče.
 U_d (V) = Přípustná mez dotykového napětí.
 U_0 (V) = Jmenovité fázové napětí sítě.
 Z_S (Ω) = Impedance celé poruchové smyčky.

Impedance ochranného vodiče by neměla představovat více, než 20 % impedance celé poruchové smyčky. V případě, kdy není tento požadavek splněn, je vhodné realizovat DOP [5].



Obr. 22 – Ilustrace provedení ekvipotenciálního pospojování soustavy [5].

2.2.4 Návrh vnějšího systému ochrany před bleskem

Výkresovou dokumentaci vnější LPS jsem zpracoval v prostředí AutoCAD. Úkolem bylo navrhnout jímací, svodovou a uzemňovací soustavu objektu. Výchozí pro mne byla stavební dokumentace ve formátu DWG, kterou firmě zaslal architekt, který má komplementaci celého projektu na starost. Tato dokumentace obsahovala pouze okótované výkresy půdorysů a stavebních plánů.

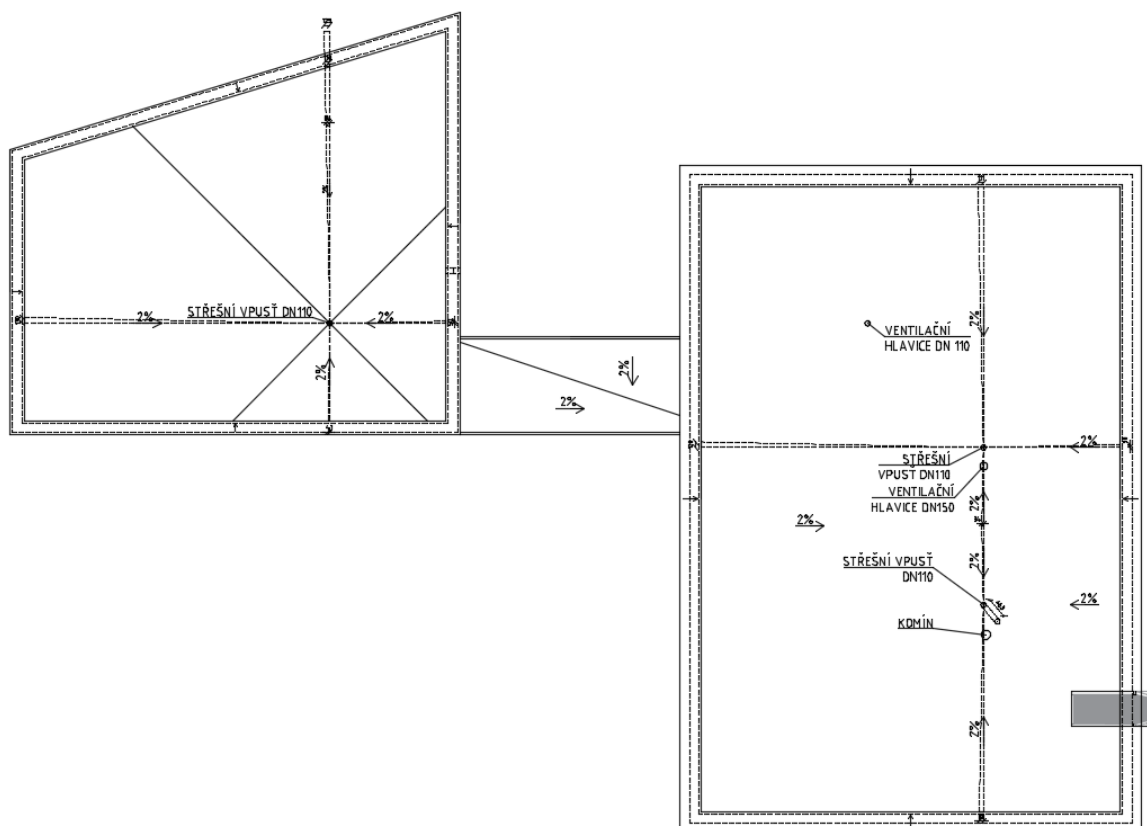
Zařazení objektu do třídy LPS

Jelikož se jedná o projekt stavby rodinného domu, lze objekt standardně zařadit do LPL III, které odpovídá uspořádání LPS III. Objekt se nachází v oblasti s běžnými atmosférickými podmínkami, nenachází se ve vyvýšené poloze a není v bezprostřední blízkosti okolních objektů. Nevyskytují se zde žádná nadstandartní rizika. Budoucí majitel neklade na stavbu žádné mimořádné nároky, nebude skladovat nebezpečné či nestabilní látky a podobně. Jedná se tedy o klasický rodinný dům. Při dimenzování vodičů a izolačních vlastností vnější LPS počítáme se skutečností, že maximální hodnota bleskového proudu dle LPL III nepřekročí 100 kA.

Vypracování jímací a svodové soustavy

Parametry LPS 3

- Rozměr oka mřížové soustavy = 15x15 m.
- Poloměr valící se koule = 45 m.
- Maximální vzájemná vzdálenosti svodů = 15 m.



Obr. 23 – Horní pohled na střechy objektů.

Výpočet parametrů rodinného domu

- Změřený vnější obvod střechy domu: $O_{RD} = 48,2$ m.
- Počet svodů: $\frac{O_{RD}}{15} = \frac{48,2}{15} = 3,21 \sim 4$ svody.
- Rovnoměrná vzájemná vzdálenost svodů: $\frac{48,2}{4} = 12,05$ m.
- Počet ok mřížové soustavy: $14,25 \times 9,85$ m < 15×15 m ~ 1 oko.
- Svody budou po obvodu rozmístěny rovnoměrně, ne však na úkor bezpečného umístění. Jejich provedení bude vnější, majitel si nepřeje skryté provedení.
- Materiálem jímacího vedení a svodu bude vodič AlMgSi o průměru 8 mm.
- Jímací vedení bude vedeno na atice, upevněno pomocí PV 21 s max. vzájemnými vzdálenostmi podpěr 80 cm.
- Vyvýšené objekty (tepelné čerpadlo a komín) budou kryty v ochranném úhlu hlavních jímáčů.
- Pomocné jímáče budou 1 m dlouhé, umístěny v rozích objektu, směřovány pod úhlem 45° .
- Pozinkovaný venkovní žebřík bude použit jako svod číslo 4 (SV4).
- Jímací soustava od všech střešních objektů zachová níže vypočtenou izolační vzdálenost.

Výpočet parametrů garáže

- Změřený vnější obvod střechy garáže: $O_G = 34,8$ m.
- Počet svodů: $\frac{O_G}{15} = \frac{34,8}{15} = 2,32 \sim 3$ svody.
- Rovnoměrná vzájemná vzdálenost svodů: $\frac{34,8}{3} = 11,6$ m.
- Počet ok mřížové soustavy: $9,6 \times 9$ m < 15×15 m ~ 1 oko.
- Zásady, použité materiály a prvky budou stejné, jako u rodinného domu.

Výpočet izolační vzdálenosti

- Hlavní jímáče budou pouze na rodinném domě.
- Výpočet bude proveden pro nejméně příznivý stav = nejdelší délka trasy jímáč-zemnič.
- Šířka domu = 9,85 m.
- Délka domu = 14,25 m.
- Výpočtová výška domu = 7 m (max. přímá vzdálenost vůči zemniči, zaokrouhleno nahoru).
- Nejdelší možná vzdálenost jímáče od nejbližšího svodu = 11,25 m.
- Hladina LPS III.
- Izolační materiál = vzduch.

Vztah pro výpočet izolační vzdálenosti [5]:

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad (2.2)$$

s (m) = izolační vzdálenost.

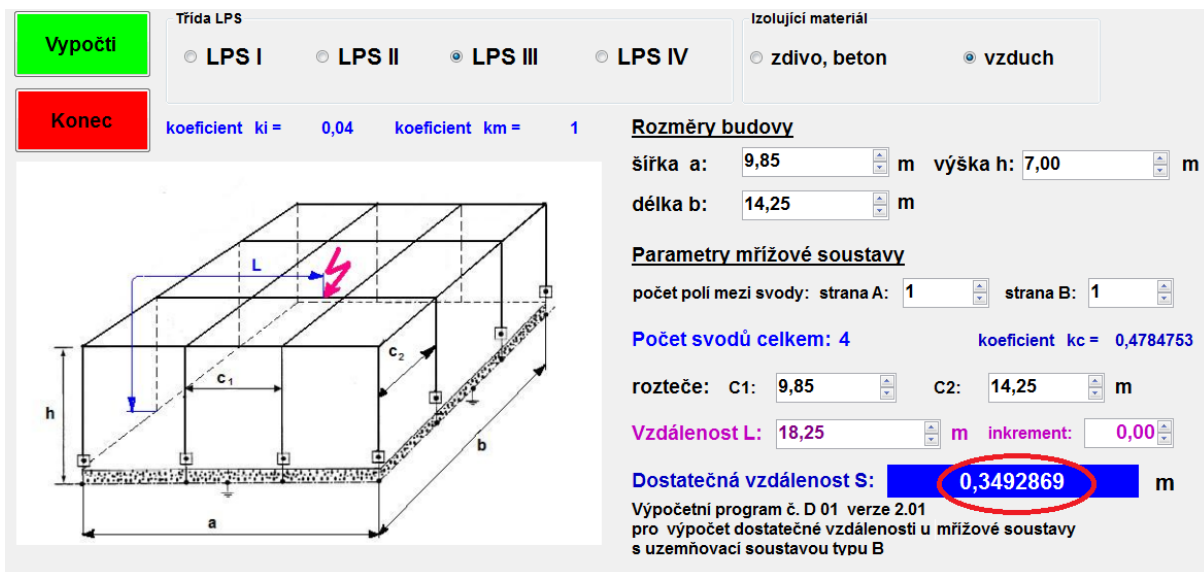
k_i (–) = koeficient zvolené úrovně LPS.

k_c (–) = koeficient velikosti bleskového proudu procházejícího vedením.

k_m (–) = koeficient materiálu izolace.

l (m) = vzdálenost do místa vyrovnání potenciálů

Jednotlivé koeficienty lze vyčíst z tabulek souboru norem ČSN EN 62305, elegantnějším řešením je však použití jednoho z veřejně dostupných výpočetních programů:



Vypočti **Konec**

Třída LPS: ☐ LPS I ☐ LPS II ☒ LPS III ☐ LPS IV

Izolující materiál: ☐ zdivo, beton ☒ vzduch

koeficient k_i = 0,04 koeficient k_m = 1

Rozměry budovy
šířka a: 9,85 m výška h: 7,00 m
délka b: 14,25 m

Parametry mřížové soustavy
počet poli mezi svody: strana A: 1 strana B: 1
Počet svodů celkem: 4 koeficient k_c = 0,4784753

rozteče: C1: 9,85 C2: 14,25 m

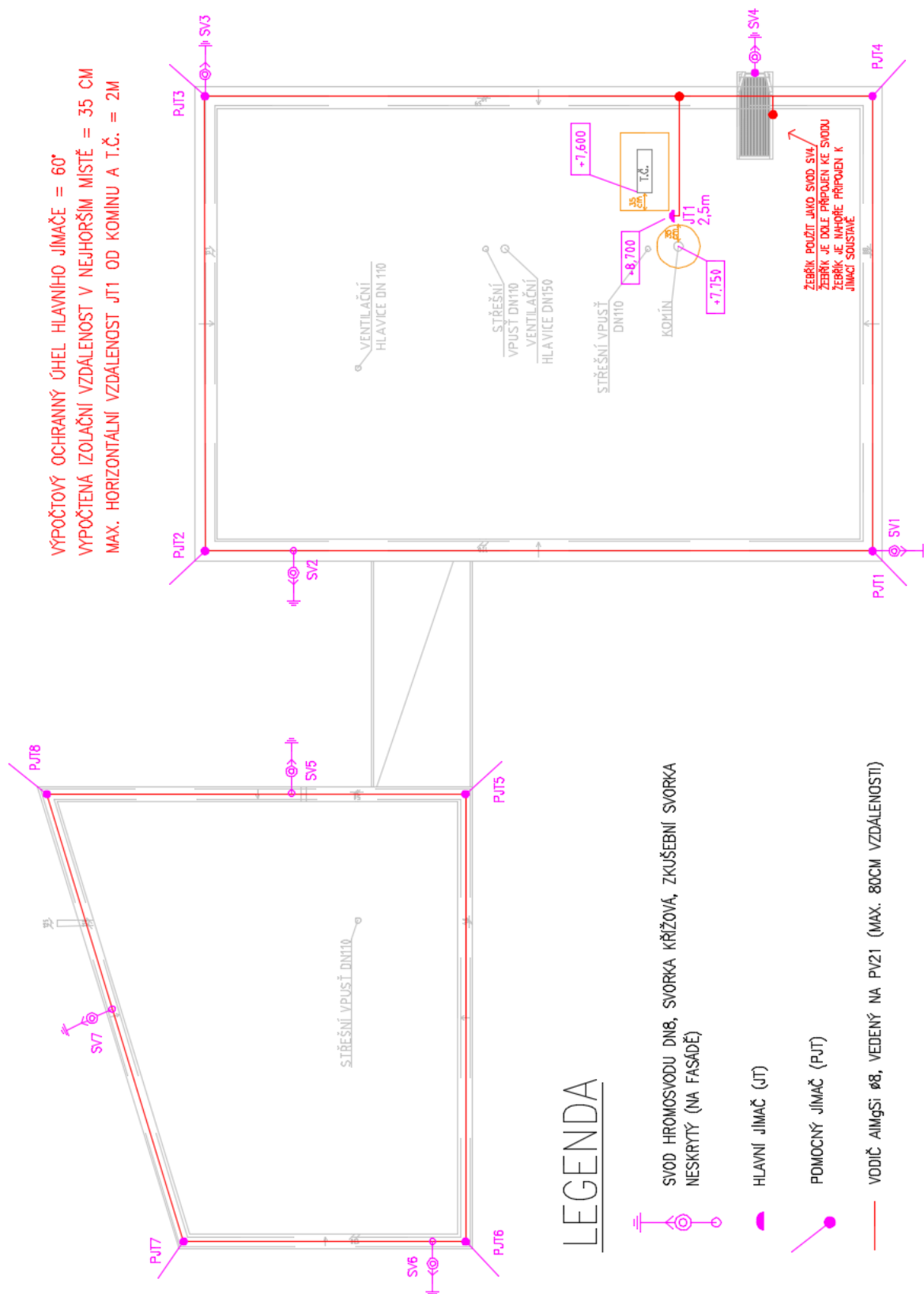
Vzdálenost L: 18,25 m inkrement: 0,00

Dostatečná vzdálenost S: 0,3492869 m

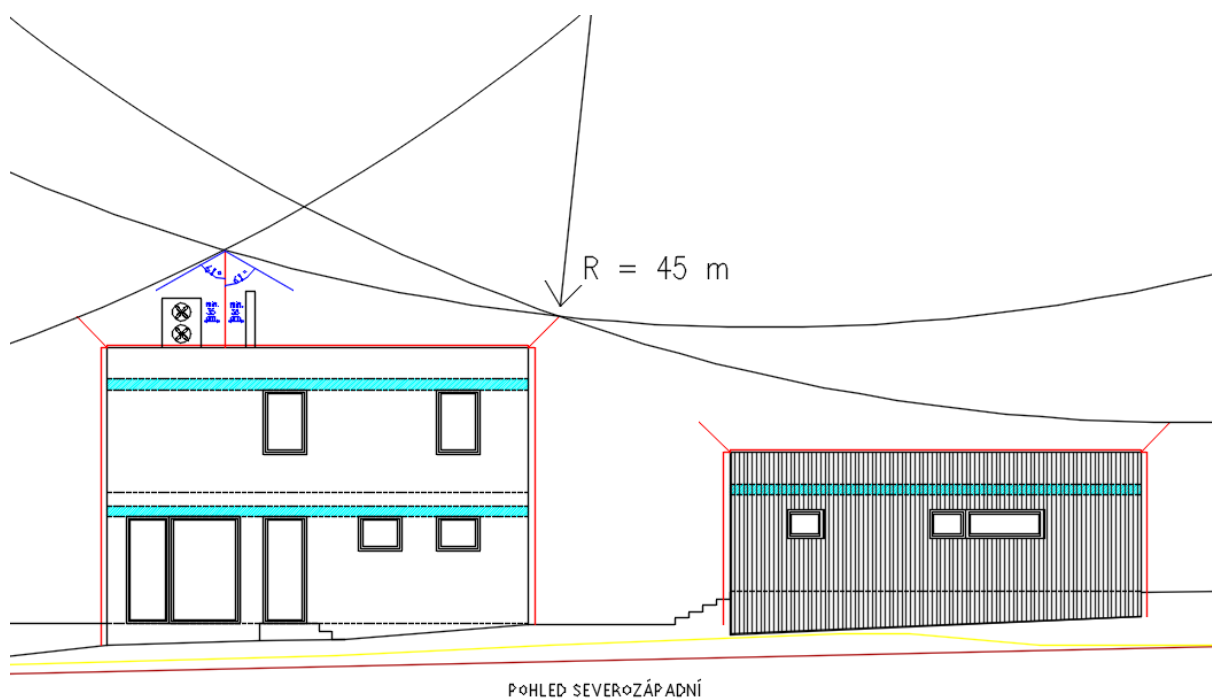
Výpočetní program č. D 01 verze 2.01
pro výpočet dostatečné vzdálenosti u mřížové soustavy
s uzemňovací soustavou typu B

Obr. 24 – Výpočet izolační vzdálenosti v programu z portálu Kniska [5].

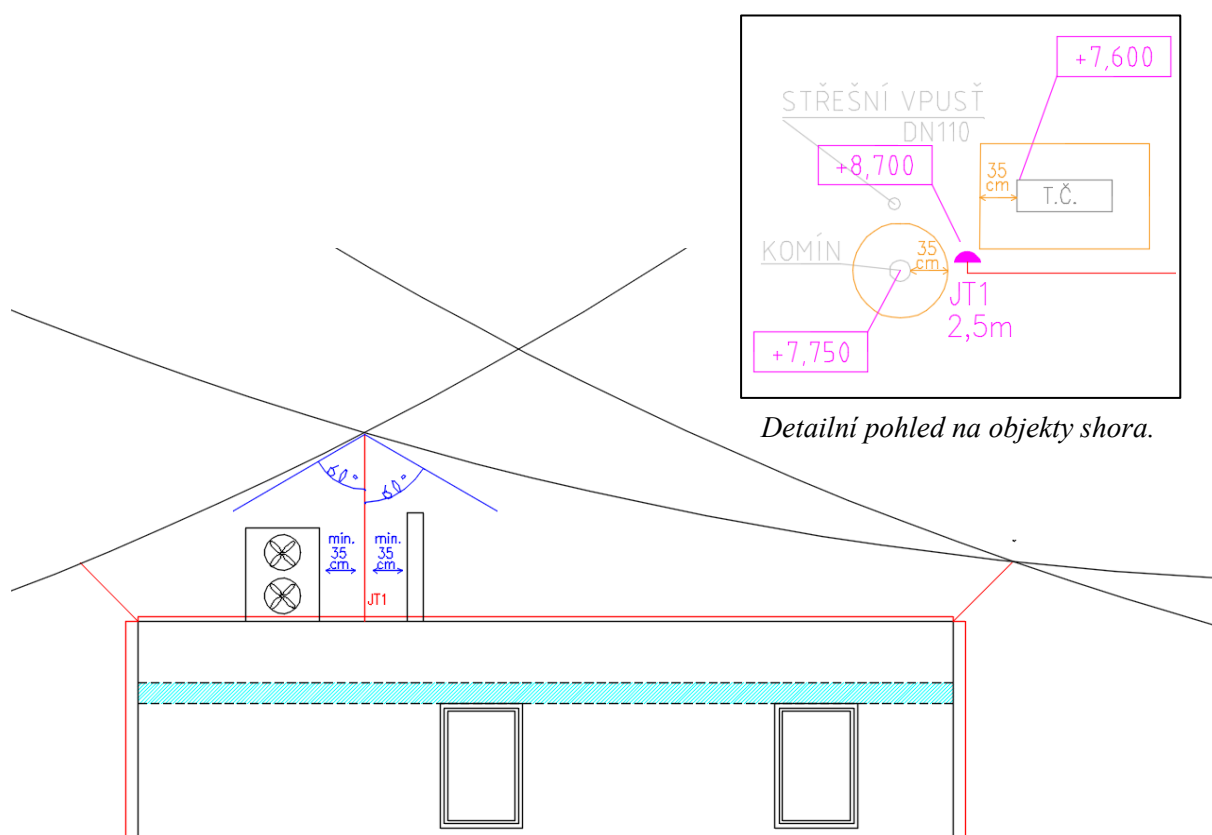
Z Obr. 24 lze vyčíst, že požadovaná izolační vzdálenost v nejnepříznivějším místě jímací soustavy bude 35 cm. Jedná se uvažovaný bod, ve kterém je vodivá vzdálenost k jímacímu vedení a nejbližšímu svodu nejdelší, což znamená vyšší elektrický odpor vodivé dráhy. Jelikož proud jde cestou nejmenšího odporu, tak delšímu vedení bude odpovídat větší izolační vzdálenost, aby se snížila pravděpodobnost přeskočení blesku na budovu (respektive na blízký objekt) na tolerovatelnou úroveň. V dokumentaci tedy uvedu doporučenou minimální izolační vzdálenost jímáčů a vedení od střešních vývodů a objektů $s = 35$ cm. Pokud by z nějakého důvodu nebylo možné tuto izolační vzdálenost dodržet (nedostatek místa, jiné okolní objekty...), pak bude zapotřebí vzdálenost přepočítat pro konkrétní umístění (v praxi bude skutečná vzdálenost vždy kratší – umístění bude příznivější).



Obr. 25 – Zjednodušený výkres jímací a svodové soustavy (z výkresu č. 003).



Obr. 26 – Valící se koule, pohled severozápadní.

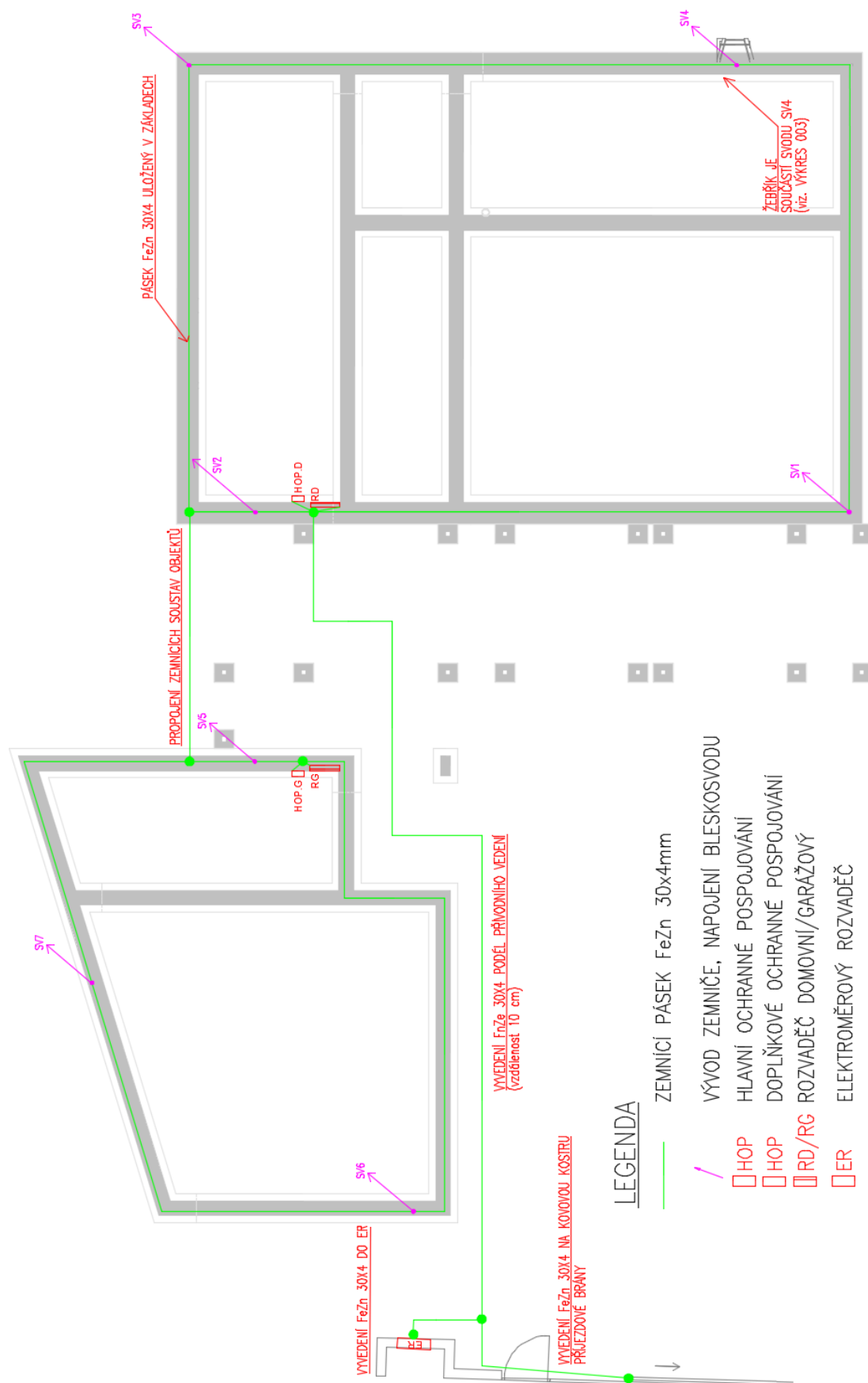


Obr. 27 – Detail valící se koule.

Z detailu jímací soustavy RD na Obr. 27 je zřejmé, že jímací tyč JT1 postačí pro ochranu obou střešních objektů – komínu a venkovní jednotky tepelného čerpadla (oba objekty se nacházejí v ochranném pásmu modrého kuželu). Vrchol JT1 se nachází ve výšce 8,7 m, čemuž odpovídá ochranný úhel přibližně 62°, nicméně je vhodné tento úhel zaokrouhlit dolů na 60°, abychom vytvořili rezervu.

Vypracování uzemňovací soustavy

- Zemnič bude uložen v betonových základech stavby.
- Uzemňovací soustavy rodinného domu a garáže budou propojeny.
- Provedení zemniče bude páskové – FeZn 30x4 mm.
- Vývody ze zemniče na zkušební svorky budou kruhového průřezu FeZn o průměru 10 mm.
- Pásek bude ve vzdálenosti 10 cm veden podél přírodního vedení objektu, až k elektroměrovému rozvaděči a budou na něj připojeny všechny vnější kovové konstrukce objektu – skříň ER, příjezdová brána, garážová vrata...
- Pásek bude vyveden ke svorkovnicím HOP (rodinný dům) a DOP (garáž).



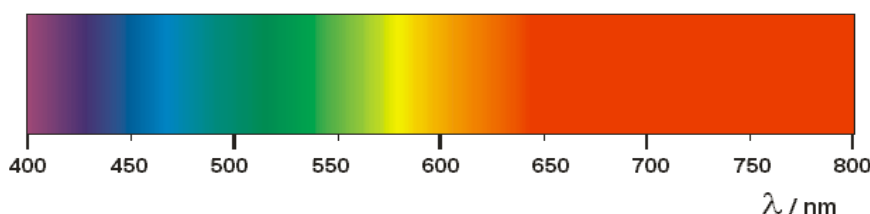
Obr. 28 – Zjednodušený výkres uzemňovací soustavy (z výkresu č. 002).

3. Návrh světelné soustavy

Zásady a požadavky návrhu osvětlovací soustavy vnitřních pracovních prostorů se řídí normou ČSN EN 12464-1, ve které lze mimo jiné tabulkově vyčíst požadované hodnoty osvětlenosti, indexu oslnění, indexu podání barev, rovnoměrnosti osvětlení a teploty chromatičnosti pro jednotlivé typy prostorů. Zajímavostí je, že norma nespecifikuje způsob dosažení požadovaných hodnot – ten je ponechán na uvážení projektanta.

3.1 Výchozí veličiny a pojmy pro návrh osvětlovací soustavy

Světlo je okem vnímatelná část elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek 380 až 780 nm. Nachází se mezi vlnovými délkami UV záření (krátkovlnné záření – před modrým spektrem) a IR záření (dlouhovlnné záření – za červeným spektrem).



Obř. 29 – Vlnové délky spektra viditelného záření [10].

Lidské oko je nejcitlivější na záření o vlnové délce 555 nm – na této vlnové délce je při povrchové teplotě slunce 6000 K vyzářeno nejvíce energie (více viz Wienův posunovací zákon).

Osvětlenost E (lx) je definována jako podíl světelného toku Φ (lm) dopadajícího na plochu S (m²). Pro výpočet osvětlenosti bodovou metodou se využívá podílu svítivosti svítidla I (cd) a kvadrátu vzdálenosti l (m) měřeného bodu od svítidla se započtením úhlu vychýlení bodu od kolmice vedoucí ze svítidla α (°) – osvětlenost tedy klesá s kvadrátem vzdálenosti zdroje záření od měřeného bodu.

$$E = \frac{I \cdot \cos(\alpha)}{l^2} \quad (3.1.1)$$

Pro prostory s trvalým pobytem osob je hygienické minimum osvětlenosti s obsahem denní složky $E_{\min} = 200$ lx. Pro typickou pracovní plochu se hygienické minimum osvětlenosti zpravidla pohybuje v rozmezí $E_{\min} = 300 - 500$ lx, dle typu pracovního úkonu. V klasických interiérech není zapotřebí osvětlovat prostory a pracovní plochy na hladinu vyšší, než 500 lx, což vyplývá z průběhu křivky závislosti rychlosti přenášené informace na úrovni osvětlenosti (v části nad 500 lx se pohybujeme za kolenem exponenciály a další zvyšování osvětlenosti nepřináší zásadní změnu rychlosti přenášené informace). Hranice 500 lx je tedy kompromisem mezi pracovním výkonem a hladinou osvětlenosti s ohledem na ekonomickou stránku osvětlovací soustavy. Vysoké hodnoty osvětlenosti (nad 1000 lx) se používají v opticky náročných odvětvích – například v lékařství, klenotnictví či hodinářství – ve kterých je kladen velký důraz na detail bez ohledu na ekonomickou stránku osvětlovací soustavy.

Jas L (cd/m^2) je definován jako podíl svítivosti zdroje a jeho okem viděné plochy, ze které záření vychází.

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos(\alpha)} \quad (3.1.2)$$

Jas je vyhodnocován v oku, které nevnímá samotný jas, ale vyhodnocuje rozdíl/kontrast jasu. Optimální poměr jasů činí 10:4:3 (místo zrakového úhlu : bezprostřední okolí : pozadí) [10].

Oslnění je fyziologický jev způsobený vysokými jasy, velkými rozdíly jasů (10:1 a více) a nevhodnými kontrasty jasů v zorném poli oka (vypočítává se z dominantního směru v místě očí). Dochází tak k překročení adaptibilní schopnosti oka, v důsledku čehož je zhoršena činnost zraku. Oslnění snižuje zrakovou pohodu, způsobuje únavu zraku či přímo znemožňuje schopnost vidění. Zdrojem oslnění mohou být přímo světelné zdroje či odrazy světelných paprsků od reflexních ploch. S ohledem na místo zrakového úhlu jsou vymezeny tzv. zakázané oblasti, ve kterých se dle zákona odrazu (úhel dopadu = úhel odrazu) nesmějí nacházet světelné zdroje. K oslnění také dochází při náhlé změně jasu (rychlá změna jasu způsobí, že se oko nestihne přizpůsobit). Dále se oslnění dělí na psychologické (zdroj odpoutává pozornost od úhlu, způsobuje únavu a nepohodu) a fyziologické (zhoršuje schopnost člověka vykonávat zrakový úkol) [10].

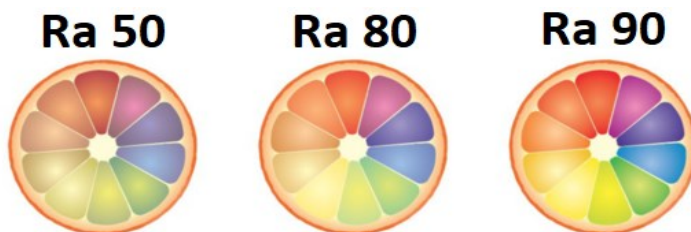
Činitel oslnění UGR (–) slouží k vyhodnocování úrovně oslnění v daném prostoru s ohledem na přímé oslnění. Je tím vyšší, čím vyšší je jas svítidel a čím větší je prostorový úhel, ve kterém oko vnímá plochy světelných zdrojů. Je tím nižší, čím vyšší je jas pozadí. Roli při výpočtu má také poloha svítidla vzhledem k vychýlení ze směru pohledu. Úrovně UGR jsou definovány řadou 10, 13, 16, 19, 22, 25 a 28, která vymezuje dvě nejbližší úrovně oslnění, jejichž rozdíl je lidské oko schopno rozeznat. Dle ČSN EN 12464-1 je jednotlivým typům prostorů typově přidělena maximální úroveň UGR [10].

Minimalizaci oslnění lze realizovat volbou svítidel nižších jasů a vhodným prostorovým rozložením a kontrastem jasů. Dále lze použít nepřímá svítidla a matné povrchy. Pro přímá svítidla jsou normou definovány úhly clonění dle jasu jejich světelného zdroje, které zabraňují přímému pohledu oka do plochy svítidla pod kritickými úhly.

V praxi jsou nejvíce oslňujícími světelné LED zdroje, které mohou dosahovat jasů řádově až $10^6 \text{ cd}/\text{m}^2$. Z velmi malé plochy jsou schopny vyzařovat obrovské množství světelného toku, proto se při jejich používání v praxi musí vhodně navrhnout systém clonění, reflektorů a refraktorů.

Celková rovnoměrnost osvětlenosti U_0 (–) je dána poměrem minimální E_{\min} a průměrné E_p osvětlenosti povrchu v prostoru. Při zanedbání rovnoměrnosti osvětlenosti vznikají v daném prostoru tmavé oblasti, které mají negativní dopad na zrakovou pohodu člověka. Obvykle je v prostorech s trvalým pobytem požadováno $U_0 \geq 0,7$. Rovnoměrnost osvětlenosti lze zlepšit rovnoměrným uspořádáním soustavy svítidel a použitím svítidel s nepřímou složkou světelného toku (tj. světelný tok vyzářený do horního poloprostoru). V problematických oblastech si lze také dopomoci použitím svítidel lokálních.

Index podání barev R_a (–) udává věrohodnost podání barevného vjemu svítidlem (respektive světelným zdrojem) na osvětlované ploše. Udává se v poměru s podáním barev zářením slunce, jehož index podání barev je 100. Hygienické minimum pro trvalý pobyt osob činí $R_a = 80$.



Obr. 30 – Porovnání rozdílu barevného vjemu při různých indexech podání barev [10].

Náhradní teplota chromatičnosti T_c (K) udává „barevnou teplotu“ svítidla (respektive světelného zdroje) vyjádřenou spektrem vyzařování absolutně černého tělesa téže teploty. Z Wienova posunovacího zákona vyplývá, že s rostoucí teplotou přechází amplituda vyzařovaného spektra do oblasti kratších vlnových délek – z IR oblasti, přes viditelné spektrum, až do UV spektra. Nižším teplotám tedy odpovídají teplé (dlouhovlnné) barvy, vyšším teplotám naopak studené (krátkovlnné) barvy [10]. S rostoucím nátlakem na pracovní výkon narůstá požadovaná hladina T_c . Pocitový vjem na kombinaci úrovně osvětlenosti a teploty chromatičnosti vyjadřuje Kruithoffův diagram (Obr. 31).

Teplá bílá do 3300 K. Převažují vyšší vlnové délky.

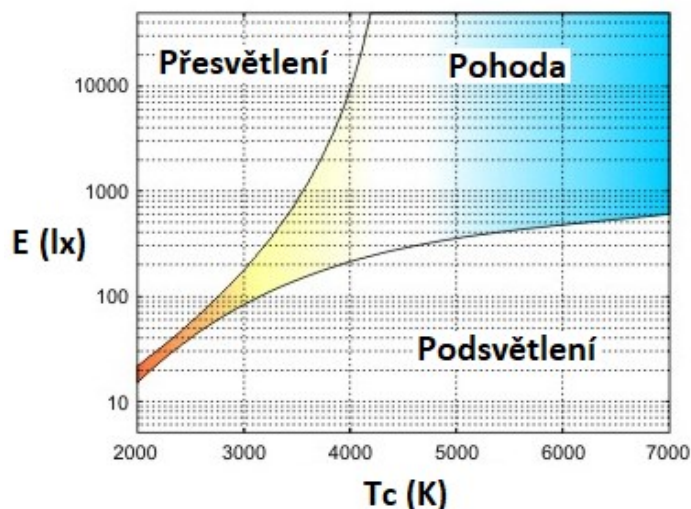
- Používá se v kombinaci s nižšími úrovněmi osvětlenosti pro odpočinek a pohodu. Vhodná pro společenské místnosti a pokoje – typickou je kombinace $E = 200 \text{ lx}$ a $T_c = 2700 \text{ K}$.

Neutrální bílá 3300 – 5300 K.

- Používá se v kombinaci s vyššími úrovněmi osvětlenosti pro pracovní výkon a aktivitu. Vhodná pro učebny a kanceláře – typickou je kombinace $E = 500 \text{ lx}$ a $T_c = 4000 \text{ K}$.

Studená bílá 5300+ K. Převažují kratší vlnové délky.

- Jedná se o barvu denního světla. Používá se v kombinaci s nejvyššími úrovněmi osvětlenosti pro nejnáročnější pracovní úkony – operační sály, ordinace, sportoviště, TV přenosy, velíny, letiště a další [10].



Obr. 31 – Kruithoffův diagram [10].

Odráživost vnitřních ploch ρ (–) je jedním ze zásadních vstupních veličin při výpočtu světelných parametrů vnitřních prostorů. Výchozí je poměr hodnot odrazností 70/50/30 pro strop, stěny a podlahu při uvažování běžného materiálového provedení a bílé matné výmalby. Pokud je známo přesné materiálové a barevné provedení interiéru, lze tyto hodnoty upřesnit a zvýšit přesnost výpočtu. Z poměru těchto odrazností také vyplývá prostorové rozložení jasu (respektive kontrast jasů), které je důležité pro zachování zrakové pohody. Odraznost podlahy vždy musí být minimální, protože je lidské oko fyziologicky vyvinuto na přijímání světla z horního poloprostoru. Světelný tok dopadající na sítnici oka z dolního poloprostoru má mnohem vyšší oslňující účinek.

Problematika denního, umělého a sdruženého osvětlení

Denní osvětlení je přirozená složka osvětlenosti pocházející ze záření dopadajícího na Zemi ze Slunce. Skládá se ze složky přímé (přímé sluneční světlo) a rozptýlené (oblohové světlo). Jedná se o bílé (širokospektrální) světelné záření s indexem podání barev 100 (složky spektra jsou však v čase proměnlivé). Problematikou a řešením denního osvětlení se zabývají soubory norem **ČSN 36 0011** a **ČSN 73 0580** [10].

V důsledku časové proměnlivosti denního osvětlení je jeho intenzita vyjadřována **činitelem denní osvětlenosti D (%)**, který je vypočten poměrem denní osvětlenosti v měřeném bodě interiérové roviny vůči osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny při známém rozložení jasu oblohy. Přímá složka záření je při tomto výpočtu vyloučena (v letní slunečný den lze v důsledku přímé složky na nezacloněné rovině naměřit osvětlenost až 100 klx). Zavádí se tzv. **rovnoměrně zatažená obloha**, která eliminuje pozici slunce a jeho přímou složku – výpočtová hodnota venkovní osvětlenosti se tak v létě pohybuje kolem hodnoty 20 klx, v zimě 5 klx [10].

$$D = \frac{E_{\text{int}}}{E_{\text{ext}}} \cdot 100 \quad (3.1.3)$$

Ze vzorce vyplývá, že činitel denní osvětlenosti udává procento osvětlenosti, které se z celkového venkovního záření dostane do měřeného bodu v interiéru. Vypovídá tedy o kvalitě návrhu osvětlovacích otvorů. Pro splnění hygienických požadavků je dle výše zmíněných norem zapotřebí dodržet hodnoty činitele $D_{\text{min}} \geq 1,5 \% \wedge D_{\text{prum}} \geq 3 \%$. Stavební projektant tedy musí osvětlovací otvory navrhnout tak, aby osvětlenost prostoru a její rovnoměrnost byly vyhovující [10].

Umělé osvětlení je nepřirozená složka osvětlenosti zajištěná zářením pocházejícím z umělých světelných zdrojů. Tyto zdroje lze rozdělit dle principu, jakým generují světelné záření [10]:

Inkandescence – princip tepelného buzení. Na tomto principu je také založeno vyzařování Slunce.

- *Klasická a halogenová žárovka* – zahřátí wolframového vlákna procházejícím elektrickým proudem v důsledku Jouleových ztrát.

Elektrický výboj – princip vybuzení atomů v elektrickém výboji.

- *Rtuťová, halogenidová a sodíková výbojka, zářivka* – výboj hořící ve specifickém plynném prostředí.

Polovodič – princip monochromatické emise fotonů při průchodu proudu P-N přechodem.

- *LED svítidla*.

Luminiscence – princip zachycení záření a jeho následné vyzáření na vyšší vlnové délce.

- Princip luminiscence se používá v kombinaci s předchozími principy – jedná se spíše o světelnou transformaci, než o samotný princip vzniku světla. Funkci „světelného transformátoru“ ve svítidle vykonává povrchově nanesená vrstva luminoforu. Tloušťka a látkové složení vrstvy luminoforu ovlivňují spektrální složení vyzařovaného záření.
- *Zářivka* – zachycení neviditelného UV záření a jeho následné vyzáření na vyšší vlnové délce ve viditelném spektru.
- *LED svítidla* – zachycení monochromatického krátkovlnného záření (modré spektrum) a jeho následné polychromatické vyzáření na vyšších vlnových délkách.

Oproti dennímu osvětlení lze díky neproměnlivosti umělého osvětlení provádět měření a výpočty osvětlenosti v absolutních jednotkách – luxech – nemusíme zavádět činitel D . Jednotlivé typy zdrojů umělého světla se značně liší cenou, životností, indexem podání barev, měrným světelným výkonem a dalšími parametry. V současné době je trendem vývoj a používání svítidel typu LED, které mimo jiné vynikají vysokým měrným světelným výkonem a vysokou životností, jejich nevýhodou je však prudce klesající životnost s nárůstem pracovní teploty. Naopak na ústupu jsou inkandescenční světelné zdroje. Z hygienických důvodů je zapotřebí umělé světelné záření používat společně se zářením denním – čistě umělé osvětlení snižuje pracovní výkon a dochází k rychlejšímu nástupu únavy.

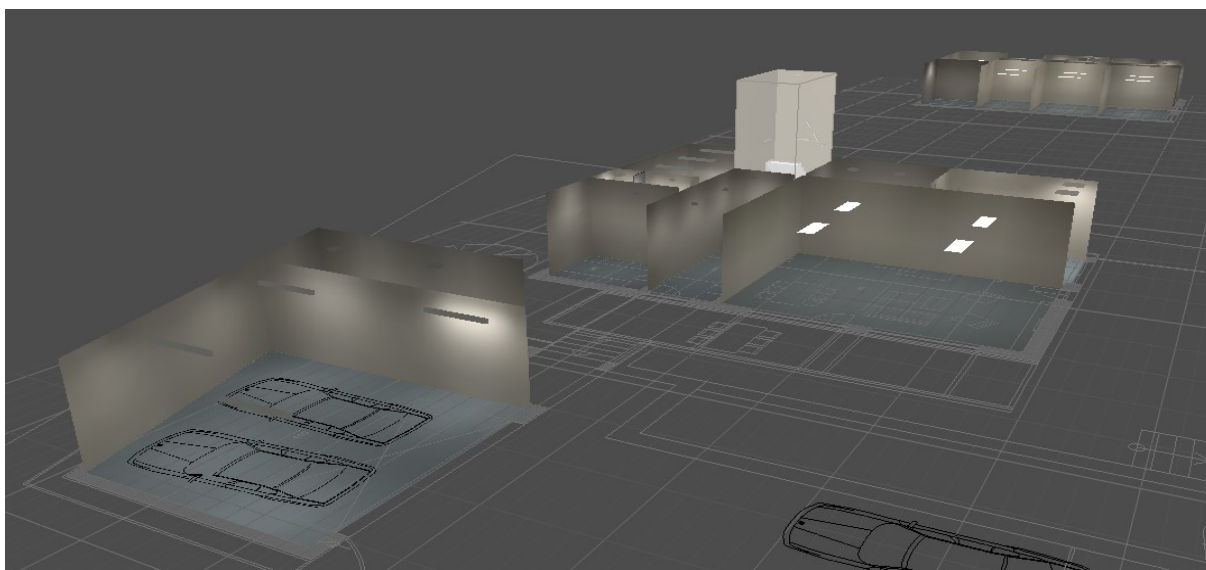
Sdružené osvětlení představuje kombinaci denního a umělého osvětlení. V případě nedostatečného denního osvětlení je tedy nutno světelnou soustavu doplnit osvětlením umělým, které může být využíváno buďto trvale (celý den) nebo přechodně (soumrak, úsvit, noc). Z hlediska rozsahu lze toto osvětlení dělit na celkové (celý prostor) nebo lokální (pracovní plocha). Použitá svítidla by se měla svým zářivým spektrem co nejvíce blížit spektru Slunce.

3.2 Model vnitřní osvětlovací soustavy RD

Při projektování elektroinstalace rodinného domu zpravidla není zapotřebí vypracovávat dokumentaci umělého osvětlení, je však nutno navrhnout dostatečný počet vývodů a vhodně je rozmístit, aby bylo možné dodržet zásady minim osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlení. Pro potřeby tohoto projektu jsem model osvětlení realizoval v prostředí Relux, umožňujícím 3D modelování i výpočty osvětlení. Model byl navržen pro vnitřní umělé osvětlení bez denní složky. V praxi se při návrhu osvětlování zvažují různá hlediska – hygienická, ekonomická, ekologická, technická, estetická či bezpečnostní. Pro tento projekt jsem dbal zejména na hledisko hygienické – usiloval jsem tedy o optimalizaci zrakového výkonu a dosažení zrakové pohody. Křivky svítivosti svítidel použitých v modelu pocházejí z oficiálních zdrojů výrobců Modus a Delta Light. Integrace těchto svítidel do prostředí Relux se provádí importováním dat ve formátu LDT, které obsahují všechny informace potřebné pro 3D modelování.



Obr. 32 – 2D model osvětlovací soustavy.



Obr. 33 – 3D model osvětlovací soustavy – pohled boční.

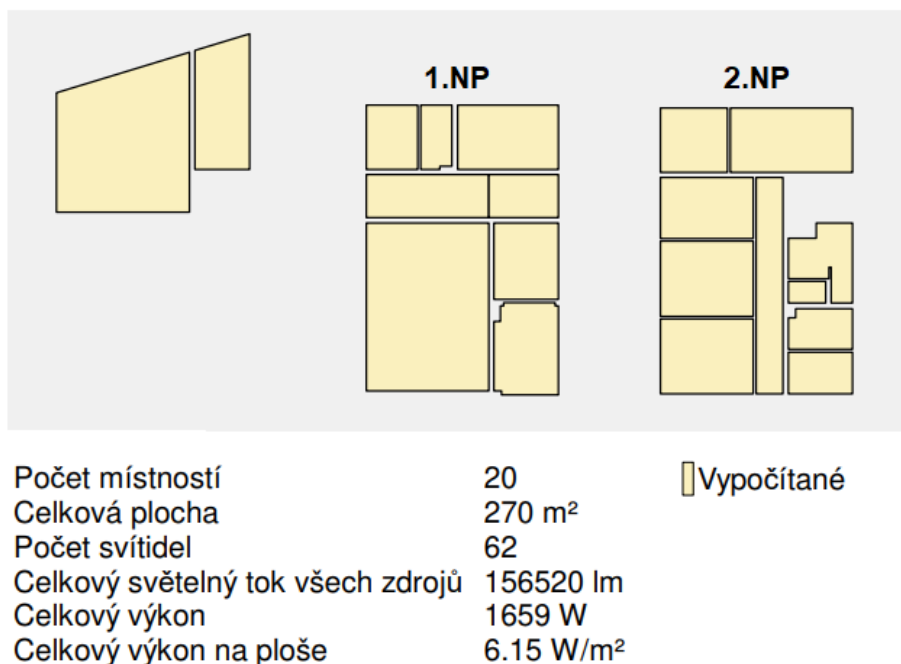


Obr. 34 – 3D model osvětlovací soustavy – pohled dolní (1.NP).



Obr. 35 – 3D model osvětlovací soustavy – pohled dolní (2.NP).

Sumarizace modelu



Obr. 36 – Sumarizace modelu osvětlení.

MODUS, spol. s r.o.			
8	Název svítidla : MODUS SPMP KN 370 700 Osazení : 1 x LED 28 W / 2600 lm	3	Název svítidla : MODUS KSL 2000 M KS Osazení : 1 x LED 20 W / 2500 lm
14	Název svítidla : MODUS SPMP KN 190 500 Osazení : 1 x LED 22 W / 1800 lm	3	Název svítidla : MODUS AREL 4000 RM2 KV Osazení : 1 x LED 37 W / 4100 lm
2	Název svítidla : MODUS Q A 700 Osazení : 1 x LED 34 W / 4100 lm	11	Název svítidla : MODUS FLY 4000 RM GP Osazení : 1 x LED 44 W / 4100 lm
4	Název svítidla : MODUS PL 3500 L1 N Osazení : 1 x LED 32 W / 4400 lm	2	Název svítidla : MODUS FLY 6000 RM GP Osazení : 1 x LED 63 W / 5800 lm
Delta Light NV			
15	Název svítidla : RENDEZ-VOUS + LEDSTRIP 50 WW FP Osazení : 1 x MIDPOWER LEDSTRIP 10 W / 548 lm		

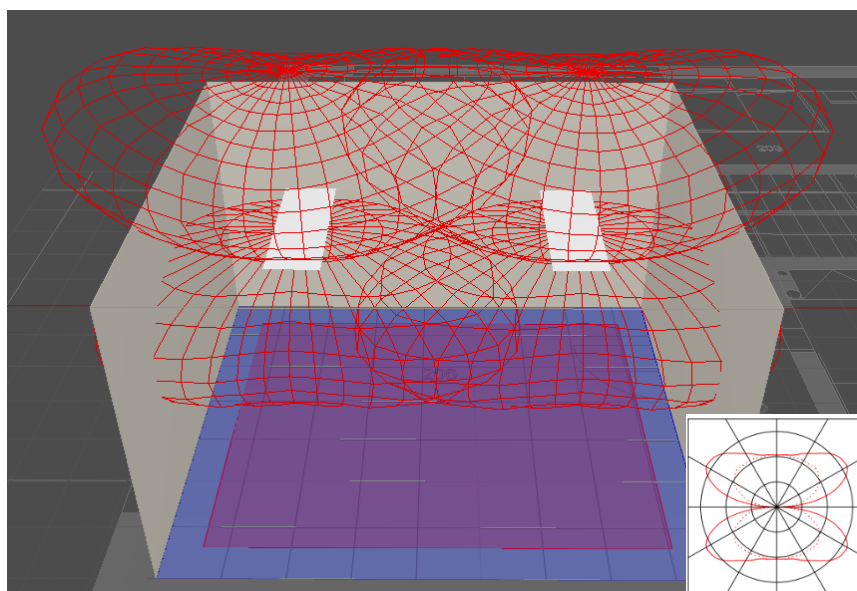
Obr. 37 – Kusovník použitých svítidel.

Vypočtené parametry vybraných místností

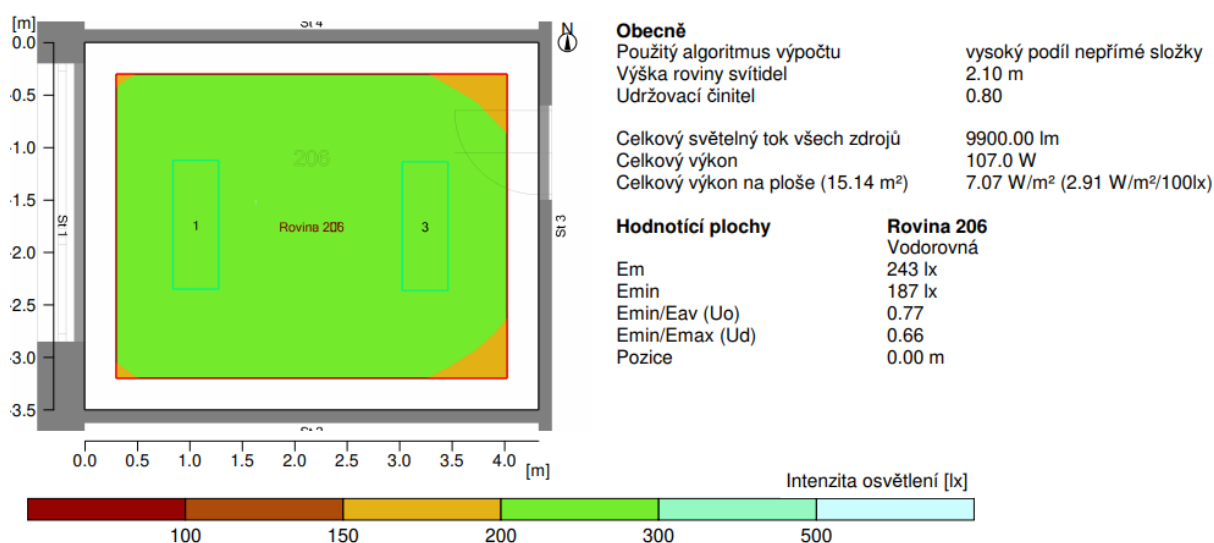
Model obsahuje 20 místností, tato kapitola popisuje typový výběr dvou z nich. Všechny vypočtené hodnoty a celkovou sumarizaci celého modelu lze nalézt ve výstupním protokolu (příloha).

Místnost 206 – obývací pokoj

Ve třech rozměrově téměř shodných obývacích pokojích v 2.NP se nacházejí shodné osvětlovací soustavy. Jedná se o dvojice svítidel typu MODUS FLY (44 a 63 W). Tato svítidla mají značkou složkou nepřímého světelného toku (50 %), který je vyzařován do horního poloprostoru, jedná se tedy o svítidla závěsná (0,5 m). Vyznačují se velmi kvalitním prostorovým rozložením jasu a designovým působením. Výpočetní rovina je zvolena na úrovni podlahy, pracovní stůl se bude nacházet u okna. Jelikož se nejedná o pracovní, nepřidávám zde dedikované osvětlení pracovní plochy (to bude realizováno osvětlením lokálním). Při použití nepřímých svítidel je zapotřebí v programu změnit algoritmus výpočtu, aby byl brán v potaz charakter jejich vyzařování.



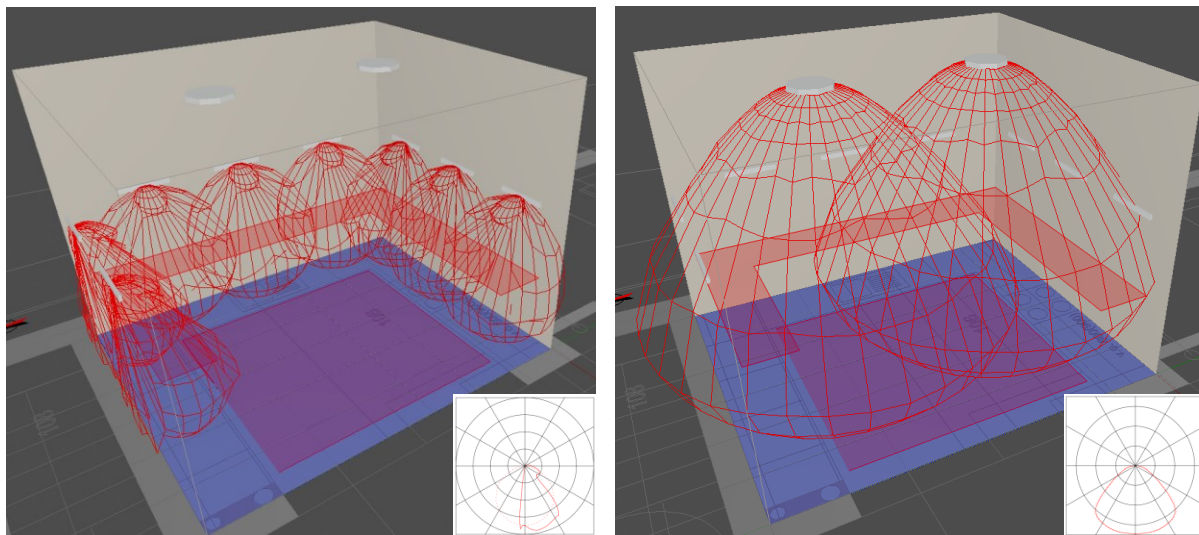
Obr. 38 – 3D model osvětlovací soustavy – křivky svítivosti (m. č. 206).



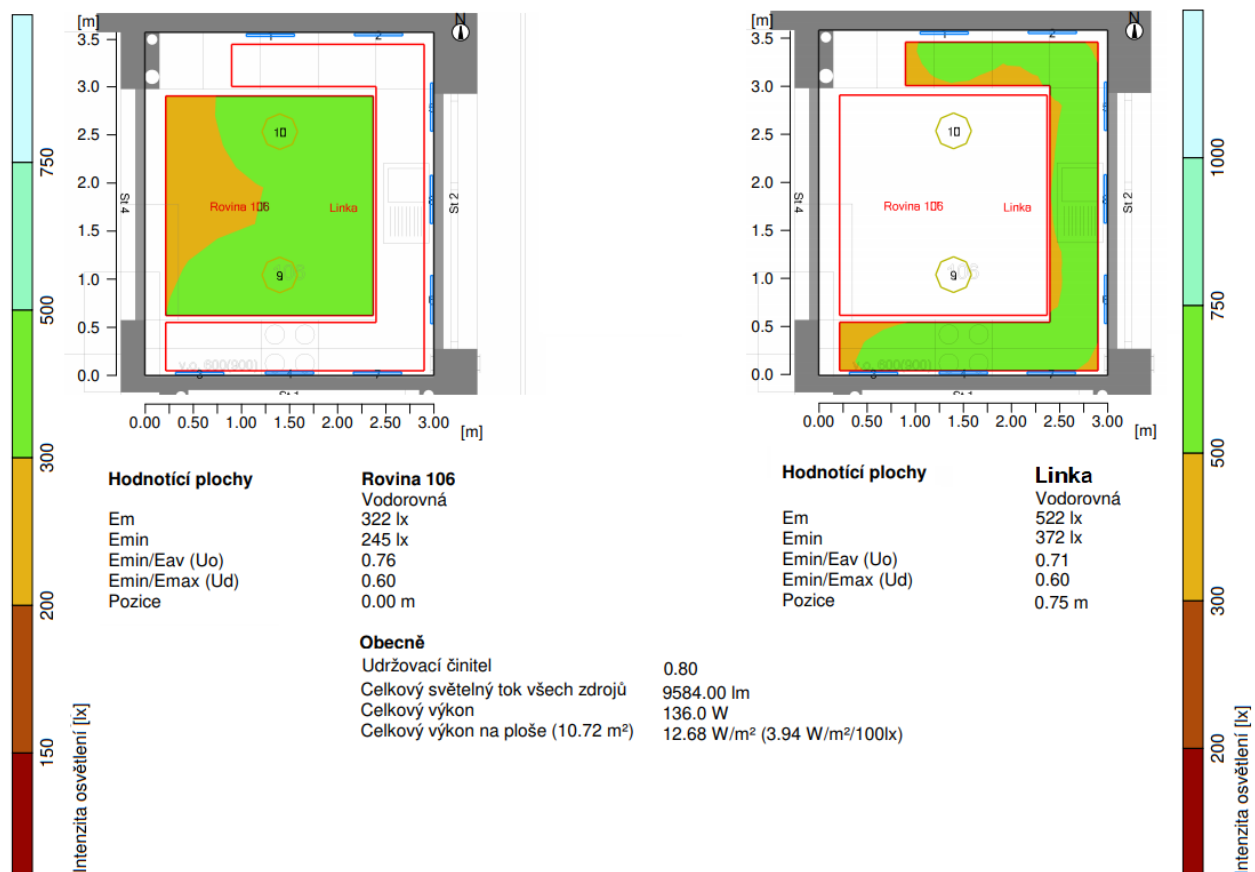
Obr. 39 – 2D model osvětlovací soustavy – vypočtené hodnoty (m. č. 206).

Místnost 106 – Kuchyně

V kuchyni se nalézají srovnávací roviny na úrovni podlahy a na úrovni pracovní linky. Pro osvětlení podlahy a základní přisvětlení linky jsou použita dvě přisazená LED svítidla typu MODUS SPMP DN370 s kuželovou symetrickou křivkou svítivosti. Pro plnohodnotné osvětlení pracovní linky jsou použita lištová LED svítidla typu DELTA LIGHT RENDEZ-VOUS s úzkou asymetrickou křivkou svítivosti (LED pásek v liště).



Obr. 40 – 3D model osvětlovací soustavy – křivky svítivosti (m. č. 106).



Obr. 41 – 2D model osvětlovací soustavy – vypočtené hodnoty (m. č. 106).

4. Návrh tepelné soustavy

Výchozím souborem norem pro výpočty tepelných výkonů je ČSN EN 12831, který je rozdělen do čtyř částí. Pro tuto diplomovou práci je podstatná jeho první část, ČSN EN 12831-1, zabývající se tepelným výkonem pro vytápění. Norma popisuje metodiku návrhu tepelného výkonu pro udržení vnitřní požadované teploty za daných venkovních výpočtových podmínek. Je náhradou za již zrušenou normu ČSN 06 0210, která ve svých výpočtech zahrnovala kontribuci tepelných zisků. Stávající norma vliv tepelných zisků neuvažuje, zavádí však nový pojem – tepelné mosty [11].

4.1 Výchozí veličiny a pojmy pro výpočet tepelných ztrát

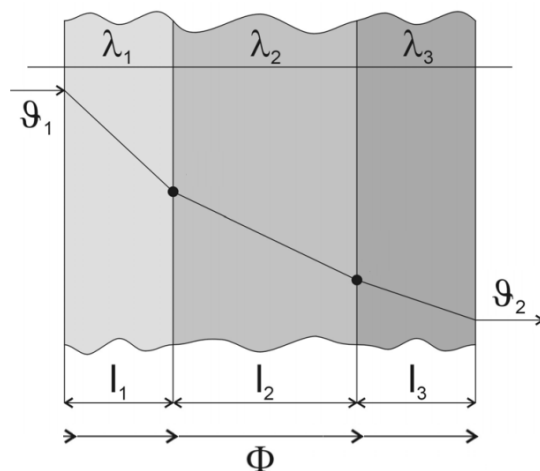
Teplo Q (J) je fyzikální veličina vyjadřující změnu vnitřní energie soustavy. Ve své podstatě se jedná o energii, která se na mikrofyzikální úrovni přenáší mezi vzájemně tepelně neizolovanými soustavami různých teplot. Termodynamické (tepelné) děje se řídí základními termodynamickými zákony, z nichž mimo jiné vyplývá skutečnost, že při tepelně vodivém styku soustav přechází tepelná energie ze soustavy teplejší do soustavy chladnější, čímž se celý systém snaží dostat do stavu termodynamické rovnováhy. Základními způsoby přenosu tepla jsou vedení, proudění a záření [12].

Tepelný tok Φ (W) je veličina vyjadřující průchod tepla za jednotku času, jejímž vztažením na jednotkovou plochu získáme **hustotu tepelného toku q (W/m²)**.

Součinitel tepelné vodivosti λ (W/m · K) je veličinou vyjadřující schopnost materiálu vést teplo. Čím je jeho hodnota nižší, tím lepší jsou tepelně izolační vlastnosti daného materiálu. Lze ho definovat jako množství tepla, které za jednotku času projde izotermickou jednotkovou plochou materiálu o tloušťce 1 m při jednotkovém teplotním spádu mezi jeho stranami.

Součinitel prostupu tepla k (W/m² · K) udává celkovou výměnu tepla v čase jednotkou plochy konstrukce mezi uvažovanými prostory. Čím je jeho hodnota nižší, tím lepší jsou tepelně izolační vlastnosti dané konstrukce. Prostup je posloupností přestupů – jedná se tedy o výstupní veličinu vypočtenou z různých tepelných vodivostí v sérii.

Teplotní průběhy na Obr. 42 jsou pro zjednodušení lineární, ve skutečnosti jsou však spíše exponenciálního charakteru v závislosti na typu materiálu.



Obr. 42 – Tepelný tok složenou rovinnou stěnou [12].

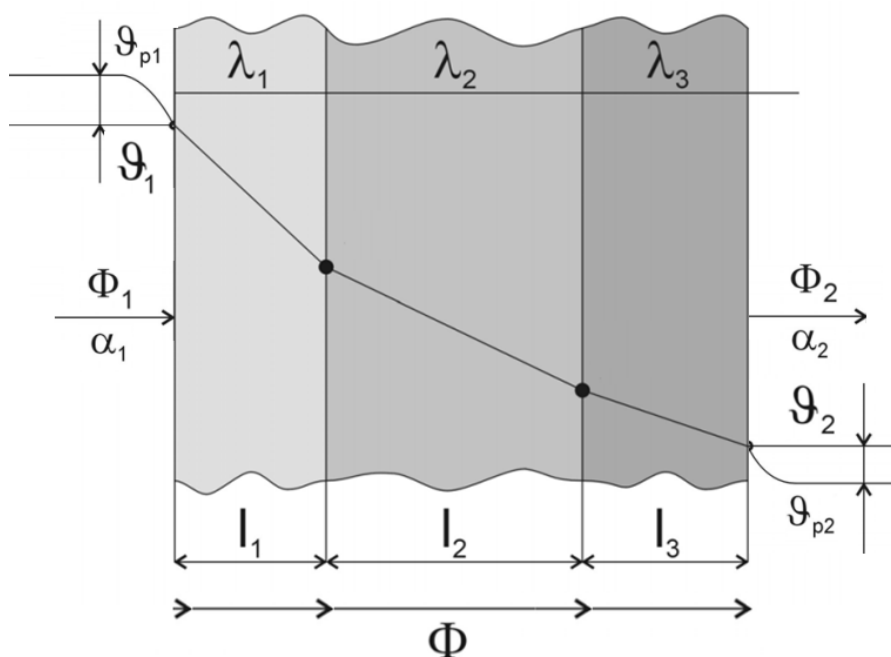
Pro vedení tepla složenou rovinnou stěnou platí:

$$\Phi = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\frac{l_1}{\lambda_1 \cdot S_1} + \frac{l_2}{\lambda_2 \cdot S_2} + \frac{l_3}{\lambda_3 \cdot S_3}} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{R_{T1} + R_{T2} + R_{T3}} \quad (4.1.1)$$

Z rovnice vyplývá, že tepelné ztráty složenou stěnou jsou přímo úměrné teplotnímu rozdílu na vnitřní a vnější straně stěny a nepřímo úměrné součtu dílčích složek tepelných odporů. Tepelný odpor narůstá s tloušťkou materiálu a klesá rostoucí plochou prostupu [12].

Ze vztahu je patrná analogie s Ohmovým zákonem z teorie elektrického pole – tepelný tok je analogií elektrického proudu, teplotní rozdíl reprezentuje rozdíl potenciálů a tepelné odpory odpovídají odporům elektrickým. Pro lepší přehlednost výpočtů uvažujme v následujících odstavcích rovnost $S_1 = S_2 = S_3$.

Součinitel přestupu tepla prouděním α ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) je veličina udávající tepelný tok přecházející mezi tekutým prostředím a pevnou jednotkovou plochou při jejich teplotním rozdílu 1 K. Jeho hodnota je pro danou tekutinu závislá na mnoha faktorech – například na teplotě, tlaku, hustotě, rychlosti a druhu proudění či na tvarových vlastnostech pevného povrchu.



Obr. 43 – Vedení tepla složenou rovinnou stěnou a proudění [12].

Pro přenos tepla prouděním platí Newtonův zákon:

$$\Phi_1 = \alpha_1 \cdot (\vartheta_{p1} - \vartheta_1) \cdot S \quad (4.1.2)$$

$$\Phi_2 = \alpha_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_{p2}) \cdot S \quad (4.1.3)$$

Z Obr. 43 je patrný teplotní skok mezi stěnou a kapalinou, způsobený mikroskopickou vrstvou kapaliny ulpívající na povrchu stěny. Přes tuto vrstvu tepelný tok prochází vedením, tekutiny (zejména plyny) jsou však špatné tepelné vodiče, dochází tedy k nerovnováze teplot.

Z výše uvedených poznatků vyplývá, že složená rovinná stěna na Obr. 43, obklopená z obou stran proudícím prostředím, představuje celkem **7 tepelných odporů v sérii**:



Obr. 44 – Sériové tepelné odpory vedení a proudění složené rovinné stěny.

Výpočet celkového tepelného toku složenou stěnou s vlivem konvekce [12]:

$$\Phi_{\text{celk}} = \frac{(\vartheta_{p1} - \vartheta_{p2}) \cdot S}{\underbrace{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}_{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} = R_{Tv}}} \quad (4.1.4)$$

Ze jmenovatele vztahu (4.1.4) lze určit **součinitel prostupu tepla** vedením konstrukcí složené stěny:

$$k_v = \frac{1}{R_{Tv}} = \frac{1}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3}} \quad (4.1.5)$$

Zároveň lze započtením vlivu proudění určit **celkový prostup tepla**:

$$k_c = \frac{1}{R_{Tc}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.1.6)$$

Vztah pro **celkový tepelný tok** pak lze zobecnit a zjednodušit:

$$\Phi_{\text{celk}} = k_c \cdot (\vartheta_{p1} - \vartheta_{p2}) \cdot S \quad (4.1.7)$$

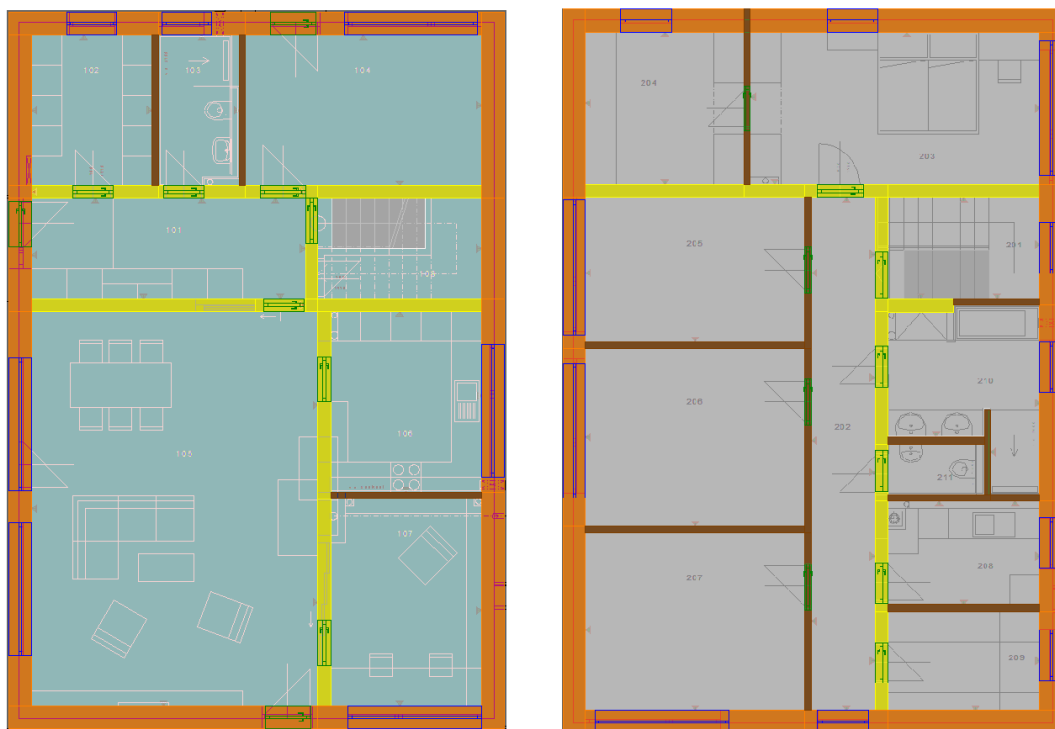
4.2 Model tepelných ztrát RD

Model tepelných ztrát je navržen v programu Raucad TechCON 2015. Výpočetní modul programu se řídí dle ČSN EN 12831-1. Slouží pro účely vypracování předběžné projektové dokumentace.

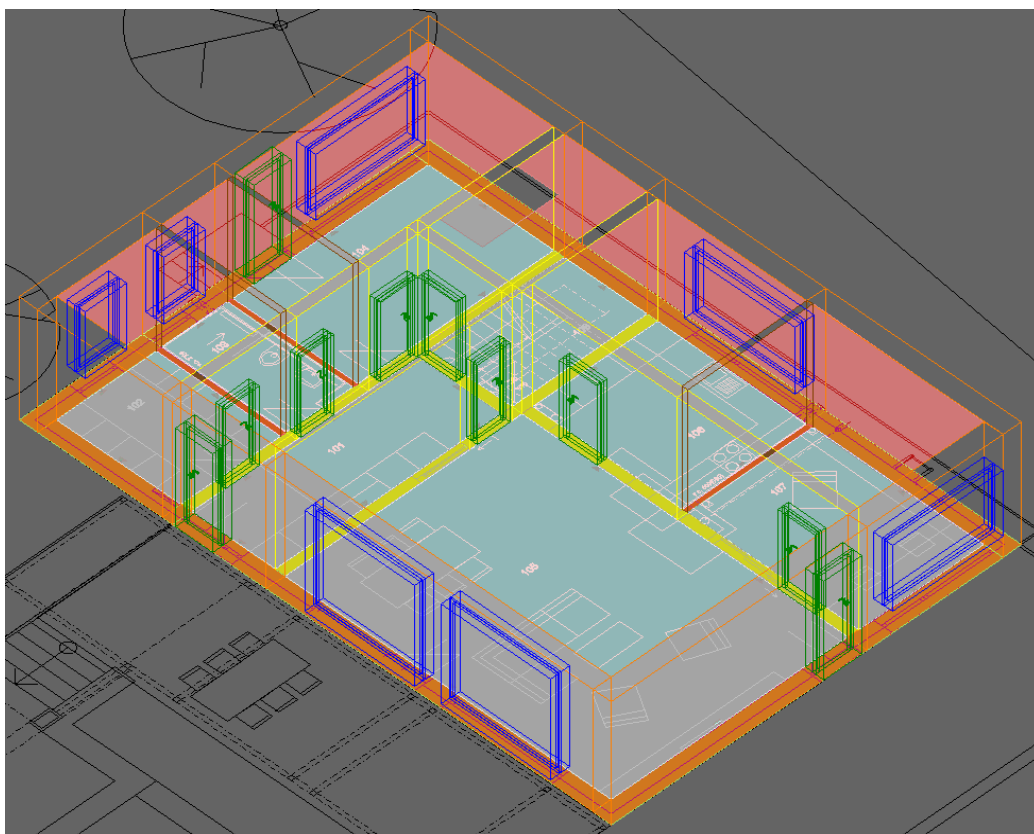
Tab. 10 – Rozpis vytvořených konstrukcí modelu.

	Název konstrukce	k (W/m ² K)	Relevantní rozměr (m)	Skladba konstrukce
Stěny	EXT Plášť	0,164	0,45	Omítka ~ Porotherm 24 P+D ~ EPS70F ~ Štuk
	INT Tlustý	1,088	0,25	Omítka ~ Porotherm 24 P+D ~ Omítka
	INT Tenký	1,645	0,125	Omítka ~ Porotherm 11,5 P+D ~ Omítka
Okna	Jednoduché 1.NP	0,68	(1) x (1,65)	Euro IV 92
	Složené 1.NP	0,68	(2,65) x (1,5)	Euro IV 92
	Jednoduché 2.NP	0,68	(1) x (1,5)	Euro IV 92
	Složené 2.NP	0,68	(2,65) x (1,5)	Euro IV 92
	Terasa	0,72	(2,65) x (2,5)	Eurohybrid IV 92 Custom
Dveře	Vnitřní 800	0,99	(0,8) x (1,97)	Euroklasik DV 78
	Vnitřní 900	0,99	(0,9) x (1,97)	Euroklasik DV 78
	Vchodové 900	0,77	(0,9) x (2,45)	Eurodeck DV 92
	Podlaha 1.NP	0,11	0,61	Krytina ~ EPS100S ~ ŽB2300 ~ Zásyp LIAPOR
	Podlaha 2.NP	1,043	0,365	Krytina ~ YTONG P4,4 ~ ŽB2300 ~ Omítka
	Střecha	0,122	0,57	Omítka ~ ŽB2300 ~ EPS 100S ~ Krytina střešní

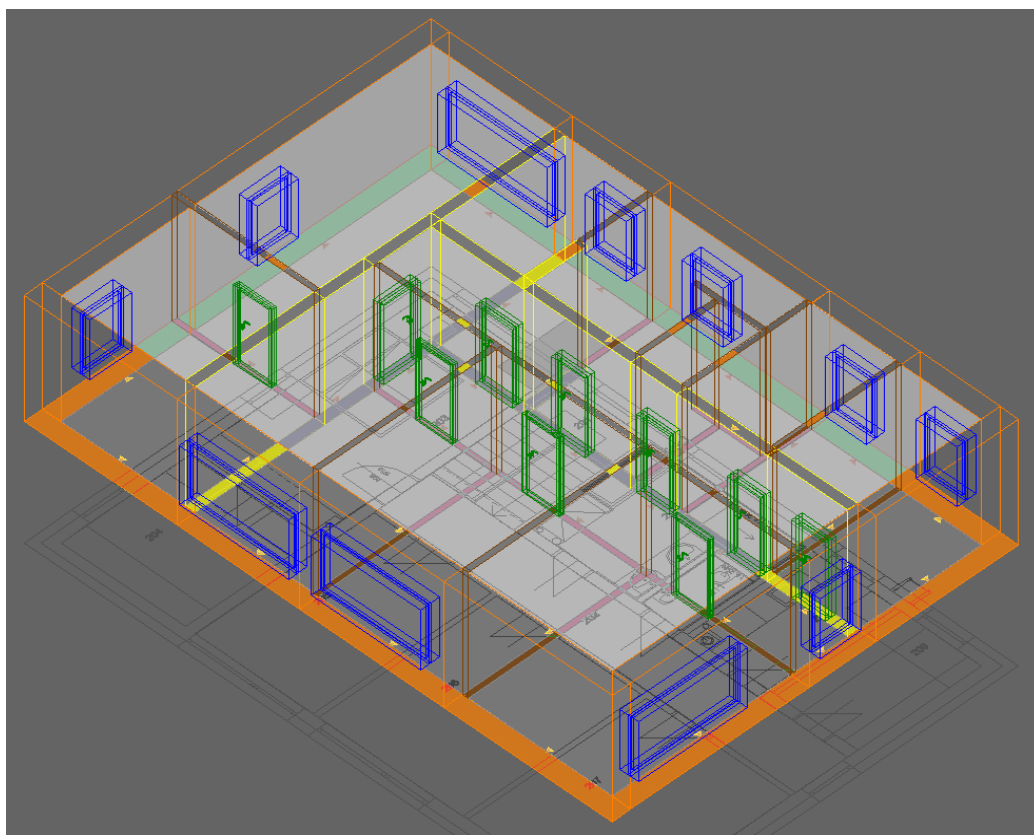
Hodnoty součinitele prostupu tepla odpovídají údajům uvedeným jednotlivými výrobci a dodavateli stavebních materiálů a prvků a vypočteným hodnotám pro složené konstrukce.



Obr. 45 – 2D model výpočtu tepelných ztrát (1.NP a 2.NP).



Obr. 46 – 3D model výpočtu tepelných ztrát (1.NP).



Obr. 47 – 3D model výpočtu tepelných ztrát (2.NP).

Vstupní parametry a vypočtené hodnoty

- Lokalita: Ostrava.
- Počet topných dnů: 229.
- Venkovní výpočtová teplota $\vartheta_{\text{ext}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, výpočtová teplota zeminy $\vartheta_{\text{zem}} = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Průměrná venkovní teplota v topném období $\vartheta_m = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Výpočtové teploty interiérových místností jsou zvoleny dle normy ČSN EN 12831-1.
- Zjednodušený výpočet tepelných mostů.
- Zanedbání nuceného větrání, výchozí intenzita větrání obytných prostorů $= 0,5\text{ h}^{-1}$.
- Zanedbání malých složitých konstrukcí.
- Zjednodušení terénu (dokonalá horizontální rovina).

Tab. 11 – Bilance tepelných ztrát modelového domu.

Původce ztrát	Tepelná ztráta (W)
Vnější stěny	2750
Podlaha (1.NP)	404
Strop (1. NP)	-177
Střecha	475
Okna	2083
Dveře	254
Větrání	3425
Celková tepelná ztráta = 9190 W	
Roční potřeba tepla na vytápění = 69,12 GJ/rok	
Ztráty tepelnými mosty = 2271 W	

Tab. 12 – Tepelné ztráty jednotlivých místností.

Místnost	Plocha (m ²)	Objem (m ³)	Plošné ztráty (W/m ²)	Objemové ztráty (W/m ³)	Celková ztráta (W)
1.101 - Chodba	10,9	29,3	6,2	2,3	68
1.102 - Šatna	7,2	19,3	56,7	21,1	408
1.103 - Koupelna	4,8	12,9	105,6	39,3	507
1.104 - Posilovna	14,1	37,9	31,2	11,61	440
1.105 - Obývací pokoj	44,7	120,1	40,3	15,0	1802
1.106 - Kuchyně	10,8	29,0	43,4	16,2	469
1.107 - Pracovna	12,4	33,2	52,5	19,6	651
1.108 - Schodiště	6,5	33,7	14,8	2,8	96
2.202 - Chodba	12,6	32,8	28,9	11,1	364
2.203 - Ložnice	17,1	44,5	50,9	19,6	871
2.204 - Šatna	9,4	24,4	53,8	20,7	506
2.205 - Pokoj 1	12,3	32,0	37,8	14,5	465
2.206 - Pokoj 2	15,1	39,4	35,8	13,7	541
2.207 - Pokoj 3	15,1	39,4	48,9	18,8	739
2.208 - Technická místnost	6,1	16,0	14,6	5,6	89
2.209 - Šatna	5,8	15,2	70,5	26,9	409
2.210 - Koupelna	8,6	22,3	73,9	28,5	636
2.211 - Toaleta	1,9	4,9	68,9	26,7	131
Průměrná objemová tepelná ztráta budovy $\doteq 16\text{ W/m}^3$					
Průměrná plošná tepelná ztráta budovy $\doteq 42\text{ W/m}^2$					

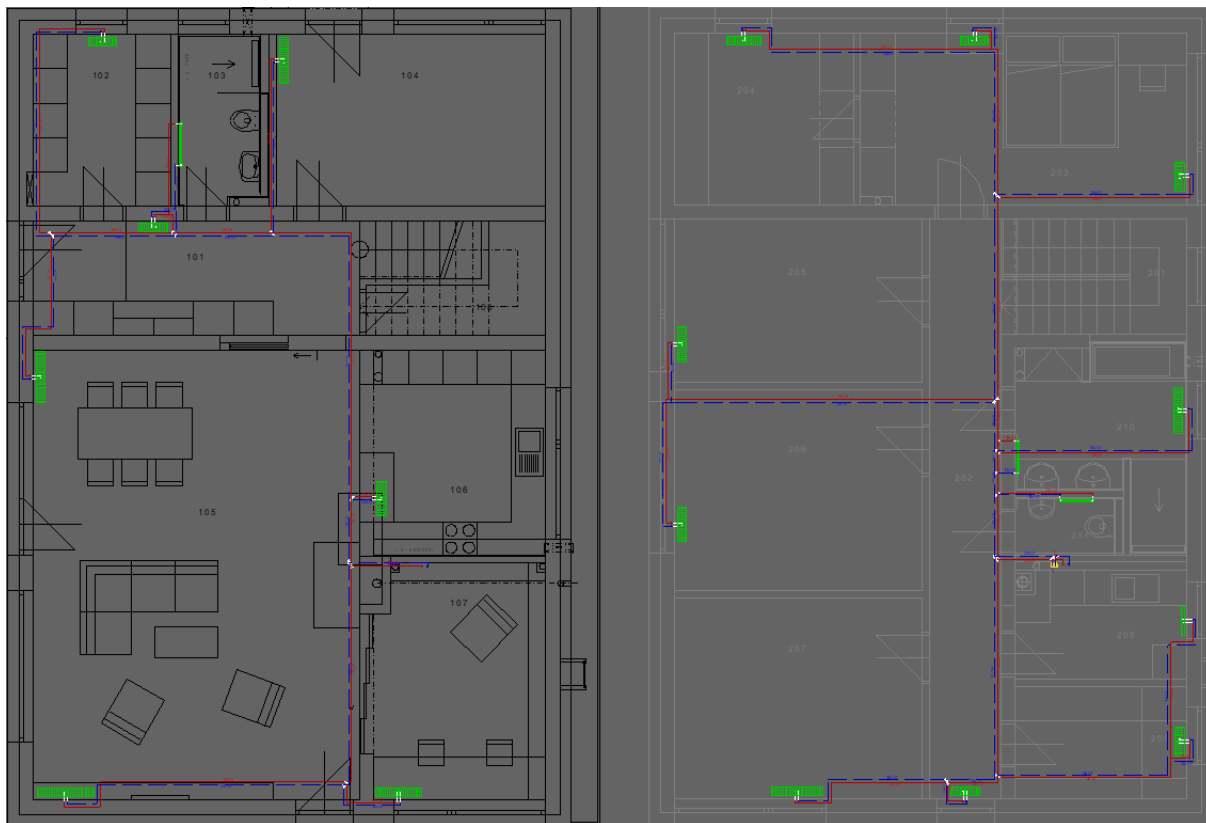
Vyhodnocení výsledků modelu tepelných ztrát

- Většina tepla z objektu uniká obvodovým pláštěm – plochami stěn (2750 W) a plochami oken (2083 W).
- Výraznou ztrátu představuje větrání obytných prostorů (3425 W), jehož součástí je infiltrace a základní výměna vzduchu.
- Ztráty podlahou v přízemí (404 W) jsou díky kvalitní izolaci, vrstvě základového zásypu LIAPOR a teplotě zeminy (4 °C) nízké.
- Ztráty střešní (475 W) jsou díky kvalitní izolaci a plochému tvaru střechy nízké.
- Největší plošné (105,6 W/m²) a objemové (39,3 W/m³) ztráty se nacházejí v koupelně 1.103. Malá koupelna s vnitřní výpočtovou teplotou 24 °C ztrácí nejvíce tepla relativně velkým oknem (venkovní teplota – 15 °C) a tenkou stěnou sousedící s relativně chladnou posilovnou (19 °C).

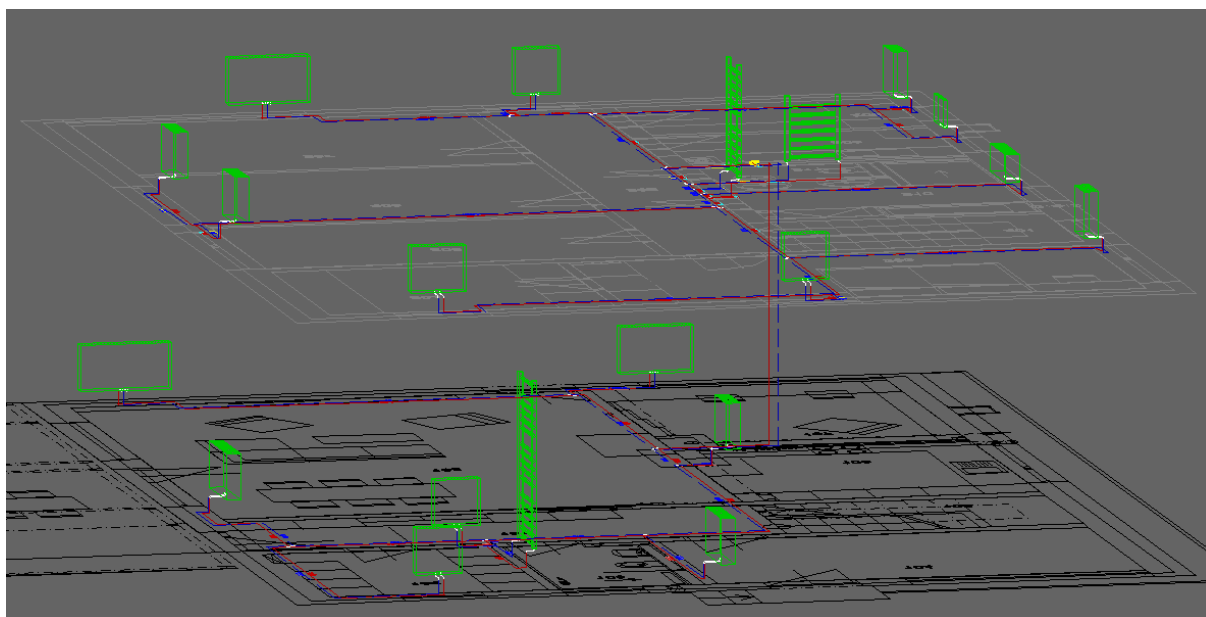
Ztráty by se daly snížit volbou menších okenních ploch, zejména v obývacím pokoji v přízemí. Design domu byl upraven dle představ budoucího majitele, energetická úspora tedy nebyla jediným návrhovým parametrem. Z Tab. 12 lze vyčíst, že tepelná ztráta stropu 1.NP je záporná, což znamená, že v sumě teplo z druhého patra přechází podlahou do patra prvního.

4.3 Model otopné soustavy

Model otopné soustavy navazuje na model tepelných ztrát, jedná se o jeden z dostupných modulů programu TechCon 2015. Volba a umístění otopných těles vyplývají z vypočtených tepelných ztrát jednotlivých místností v kapitole 4.2.



Obr. 48 – 2D model otopné soustavy (1.NP vlevo a 2.NP vpravo).



Obr. 49 – 3D model otopné soustavy.

Tab. 13 – Přehled zvolených otopných těles.

Místnost	Typ otopného tělesa	Výška/Délka (mm)	Pokrytí ztrát (%)
1.101 - Chodba	RADIK 33 LINE VKM	500/500	117
1.102 - Šatna	RADIK 33 LINE VKM	500/500	126
1.103 - Koupelna	KORALUX LINEAR	1810/600	101
1.104 - Posilovna	RADIK 33 LINE VKM	500/800	109
1.105 - Obývací pokoj	RADIK 33 LINE VKM (2x)	500/1000 500/900	102
1.106 - Kuchyně	RADIK 33 LINE VKM	500/600	115
1.107 - Pracovna	RADIK 33 LINE VKM	500/800	113
2.202 - Chodba	RADIK 33 LINE VKM	500/500	125
2.203 - Ložnice	RADIK 33 LINE VKM (2x)	500/500 500/500	105
2.204 - Šatna	RADIK 33 LINE VKM	500/600	109
2.205 - Pokoj 1	RADIK 33 LINE VKM	500/600	118
2.206 - Pokoj 2	RADIK 33 LINE VKM	500/600	102
2.207 - Pokoj 3	RADIK 33 LINE VKM	500/900	112
2.208 - Tech. místnost	RADIK 10 VKM	300/500	106
2.209 - Šatna	RADIK 33 LINE VKM	500/500	112
2.210 - Koupelna	KORALUX LINEAR RADIK 33 LINE VKM	1220/600 300/800	103
2.211 - Toaleta	KORALUX LINEAR	700/600	116

Soustava je navržena na maximální topný příkon 10,35 kW při teplotním spádu tepelného čerpadla 55/40 °C. Pokrytí tepelných ztrát otopnými tělesy v jednotlivých místnostech je vždy vyšší, než 100 %. Výběr otopných těles jsem volil jednotný – rozměrovou variací deskového otopného tělesa RADIK LINE VKM a trubkového otopného tělesa KORALUX LINEAR s nejbližším vyšším pokrytím nad 100 %.

Modul vytápění mimo jiné umožňuje dimenzování potrubních rozvodů a jejich následnou optimalizaci. Optimalizaci program sám provádí nastavováním parametrů ventilů otopných těles, laděním dispozičního tlaku a dimenzováním rozměrů potrubí. Optimalizace celé soustavy je však součástí placené verze programu. Bez pokročilých znalostí v topenářském oboru je tedy obtížné optimálně navrhnout jednotlivé části rozvodu (volba ventilů, armatur, průměrů prvků apod.). Optimálního stavu se mi vhodnou kombinací jednotlivých parametrů podařilo dosáhnout pouze při realizaci přízemí. Po realizaci stoupaček a okruhu druhého patra se celá soustava zásadně zkomplikovala a neplacená verze programu ji bez zakoupení licence odmítá optimalizovat. V takovémto případě program provede základní dimenzování rozvodů a upozorní na případné tlakové nepoměry.

Závěr

Hlavní cíl této diplomové práce byl splněn – stavební povolení, týkající se profese silnoproudu, bylo zákazníkovi uděleno. Navrhnutá osvětlovací soustava umělého osvětlení splňuje základní požadavky a vypočtené tepelné ztráty přibližně odpovídají prvotnímu odhadu stavebního projektanta. Elektrické, světelné a tepelné parametry modelového domu tak byly úspěšně vypočteny a namodelovány.

Výsledkem řešení elektrické soustavy (elektroinstalace a ochrany před úderem blesku) je dokumentace očíslovaná 001 až 008, vypracovaná v prostředí AutoCAD, jejíž součástí je také technická zpráva (001) a předběžné výkresy slaboproudých systémů (006 a 007), které však nejsou součástí diplomové práce. Výkresy jsou příliš velké na to, aby byly přímo uvedeny ve formátu A4, lze je tedy nalézt v přílohách této diplomové práce. Výjimkou jsou výkresy 002 a 003, které jsou v kapitole 2 ve zjednodušené podobě uvedeny.

Výsledkem řešení světelné soustavy v prostředí Relux je výstupní protokol o rozsahu 67 stránek, rovněž uvedený v přílohách této diplomové práce. Model, specifikace dvou vybraných místností a celková sumarizace jsou uvedeny v kapitole 3.

Výsledkem řešení tepelné soustavy v prostředí TechCON jsou modely a vypočtené hodnoty týkající se tepelných ztrát a otopné soustavy v kapitole 4.

Za přínos mé diplomové práce lze považovat náhled do práce projektanta silnoproudu v rámci projektu novostavby rodinného domu. Pro neznalé jsou zejména přínosem teoretické kapitoly jednotlivých soustav, které jsou řešeny způsobem umožňujícím laikům získat přehled o možných problémech a jejich řešeních. Praktické části představují aplikaci těchto teoretických poznatků na skutečný projekt. Osobně doufám, že v některých čtenářích tato diplomová práce vzbudí zájem o elektrotechnické projektování – jedná se o velmi zajímavou a perspektivní profesi.

Pokud se některý z čtenářů této diplomové práce bude zabývat obdobným tématem, pak bych při zpětném reflektování na použité programy zaměnil AutoCAD LT 2019 za CADKON+ 2019 od společnosti Graitex s.r.o.. Tento program, při použití elektrotechnického modulu, umožňuje projektantovi projekt dokončit rychleji a mnohem přehledněji, včetně jeho případných budoucích změn. Software také obsahuje moduly z jiných profesí, jakými jsou například zdravotnická, vzduchotechnika, topenářství, stavebnictví a další. Rovněž bych také doporučil místo programu Relux použít modul Wils programu Building Design od společnosti Astra MS Software s.r.o.. Modul Wils se vyznačuje mnohem přehlednějším pracovním prostředím a rychlejším modelováním osvětlovací soustavy, než program Relux. Jedná se však o placený výpočetní modul, pokud bych měl vybrat jiný (neplacený) software pro výpočet osvětlení, pak bych zvolil DIALux od společnosti DIAL GmbH.

Budoucí práce, navazující na tuto diplomovou práci, by se mohla zabývat řešením inteligentní domácnosti implementací systému KNX v rámci elektroinstalace, čímž by došlo k zvýšení uživatelského komfortu, bezpečnosti a energetických úspor.

Seznam použité literatury

- [1] Stavební dispozice modelového domu 10/18 [.DWG]. Ing. Arch. Jakub Miller.
- [2] ČEZ Distribuce. www.cezdistribuce.cz [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/pripojovaci-podminky.html>
- [3] ČEZ Distribuce. www.cezdistribuce.cz [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo.html>
- [4] Extrémní meteorologické jevy. [Mve.energetika.cz](http://mve.energetika.cz) [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/klimaticke-zmeny/extremni-meteorologicke-jevy.htm>
- [5] Hájek, Jan; Šalanský, Dalibor; KníŠka v2.1,2011; KníŠka o ochraně před bleskem. [cit. 2019-01-20]
- [6] Elektro časopis pro elektrotechniku. www.odbornecasopisy.cz [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/obsah-cisla-01-2007--258>
- [7] Dehn + Söhne,; Lightning protection guide. 3rd updated ed., 2014, [cit. 2019-01-20]
- [8] Kovoblesk Opava. www.kovoblesk.cz [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.kovoblesk.cz/vyroba-hromosvodu/>
- [9] OEZ Newsletter. cc.oez.cz [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://cc.oez.cz/jak-vybrat-vhodnou-prepetovou-ochranu>
- [10] Habel, Jiří., Dvořáček, Karel., Žák, Petr.; Světlo a osvětlování, FCC Public; 2013, [cit. 2019-01-20]
- [11] TZB info: Portál technologie stavebnictví a technických zařízení budov [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/>
- [12] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. Elektrotepelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04938-9. [cit. 2019-01-20]

Seznam příloh

Příloha I. – Výstupní dokumentace návrhu elektroinstalace a ochrany před úderem blesku.

Příloha II. – Výstupní dokumentace návrhu soustavy umělého osvětlení.